

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

LAÍS MARANGONI

OTIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE CARREGAMENTO DE CONTÊINERES
UTILIZANDO UM MÉTODO HEURÍSTICO

Joinville
2016

LAÍS MARANGONI

OTIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE CARREGAMENTO DE CONTÊINERES
UTILIZANDO UM MÉTODO HEURÍSTICO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Transportes e Logística no
Curso de Engenharia de Transportes e
Logística da Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico de
Joinville.

Orientadora: Prof^a. Dra. Christiane
Wenck Nogueira Fernandes

Joinville

2016

OTIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE CARREGAMENTO DE CONTÊINERES
UTILIZANDO UM MÉTODO HEURÍSTICO

LAÍS MARANGONI

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Transportes e Logística no
Curso de Engenharia de Transportes e
Logística da Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico de
Joinville.

Joinville (SC), 30 Novembro de 2016.

Banca Examinadora:

Prof^a. Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Dra. Silvia L. de Sena Tagliapietra
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Dra. Elisete Santos da Silva Zagheni
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus, por ter me guiado até aqui e estar me abençoando grandemente durante todos estes anos de universidade, sempre me suprimdo e me dando forças para continuar.

Aos meus grandes exemplos de vida, minha família, ao meu pai Jorge, à minha mãe Nilza e minha irmã Lívia, que tem me mostrado verdadeiramente o quão importante é executar todas as coisas com excelência, amor, sabedoria e sempre estar disposto a ajudar o próximo. Fica aqui o meu eterno: Muito obrigado. Sem vocês eu nada seria, essa conquista é tão minha quanto de vocês.

A toda a minha família, que sempre esteve do meu lado, me apoiando e me mostrando que apesar as dificuldades, Deus nos mantém fortes para continuar caminhando e encontrar a vitória.

Um agradecimento especial ao meu avô Zéca (*in memorian*), que apesar de não estar presente neste momento fisicamente, está e sempre estará no meu coração. Sei o quanto você sempre torceu por mim e pode ter certeza que todos os seus ensinamentos ficarão para sempre comigo.

Ao meu futuro marido, Jan, que sempre me apoiou e mostrou o meu valor, obrigada por acreditar em mim e confiar que este dia chegaria. Você é um grande presente de Deus para a minha vida.

Aos meus grandes e eternos amigos do Chi Alpha, em especial ao Maiko Nienkotter e a Nayara Fernanda que são as amigas mais incríveis que eu já fiz em toda a minha vida. Muito obrigada por estarem comigo nesta caminhada, vocês provaram o amor de Deus e o cuidado dEle com a minha vida durante todos estes anos.

A minha amiga Ana, que mesmo com toda a correria da sua rotina, se dispôs a me ajudar de diversas formas durante a execução deste trabalho, sempre confiando no meu potencial.

A minha orientadora e grande amiga, professora Christiane, um dos grandes exemplos dentro da UFSC. Obrigada por todo o apoio durante estes anos, sua sabedoria com certeza me motivou muito, e esta conquista também é sua.

Um agradecimento a todos os professores da UFSC, principalmente os do curso de Transporte e Logística. Obrigada por acreditarem que pode existir um mundo

melhor, um mundo aonde as pessoas confiam umas nas outras e querem partilhar conhecimento para melhorar ainda mais. Parabéns, vocês são especiais.

E por fim, um agradecimento a empresa do meu estágio, a toda a equipe de engenharia e aos meus gestores, que disponibilizaram toda a ajuda para desenvolver o estudo deste trabalho. Obrigada, aprendi e aprendo muito com vocês.

“Tudo o que fizerem, façam de todo o coração, como para o Senhor, e não para os homens, sabendo que receberão do Senhor a recompensa da herança. É a Cristo, o Senhor, que vocês estão servindo.”

Colossenses 3:23-24

RESUMO

O crescimento dos mercados e o aumento da competitividade entre as empresas na última década desencadeou uma busca por processos mais eficientes e eficazes dentro da rotina das empresas. Dentre as operações que demandam maior dispêndio de custos de um produto estão as operações logísticas. A criação do contêiner facilitou o processo logístico e otimizou grande parte dos custos, porém, o foco continua sendo na minimização dos espaços vazios durante a alocação das cargas, mantendo o nível de serviço oferecido ao seu cliente final. Para isso, o estudo do carregamento de contêiner como é conhecido, aos poucos está sendo disseminado no Brasil com o intuito de aproveitar o máximo espaço disponível do contêiner. A resolução deste tipo de problema, requer uma modelagem matemática que maximize a ocupação por exemplo. Neste trabalho é apresentada uma nova heurística para resolver o problema de carregamento de contêineres e os resultados obtidos pela mesma são comparados aos resultados obtidos quando se considera o software 2D Load Packer.

Palavras-chave: Proposta Heurística. Heurística. Carregamento de Contêineres. Otimização. Layout de Carregamento.

ABSTRACT

The growth of markets and increased competitiveness among companies in the last decade has triggered a search for more efficient and effective processes within the routine of companies. Among the operations that demand higher expenditure of costs of a product are the logistics operations. The creation of the container facilitated the logistics process and optimized a large part of the costs, but the focus remains on minimizing the empty spaces during the allocation of cargo, maintaining the level of service offered to its final customer. For this, the study of container loading as it is known, is gradually being disseminated in Brazil in order to take advantage of the maximum space available in the container. Solving this type of problem requires a mathematical modeling that maximizes occupation for example. In this work a new heuristic is presented to solve the problem of container loading and the results obtained by it are compared to the results obtained when considering 2D Load Packer software.

Keyword: Heuristic Proposal. Heuristic. Loading Containers. Optimization. Load Layout.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comparativo de paletes	20
Figura 2 - Processo de Tomada de Decisão.....	24
Figura 3 - Representação de utilização de modelo	25
Figura 4 - Ilustrativo sobre a escolha do item a ser inserido na mochila.....	31
Figura 5 - Plano de Corte unidimensional gerado em um objeto	37
Figura 6 - Plano de Corte Bidimensional em uma placa retangular	38
Figura 7 - Problema Tridimensional	40
Figura 8 - Métodos de resolução de problemas	48
Figura 9 - Ilustração inserção de caixas no contêiner	51
Figura 10 - Fluxograma do Algoritmo Heurístico Proposto por Vendramini.....	54
Figura 11 - Unidades fabris e linhas produtivas	57
Figura 12- Linha produtiva particionada	58
Figura 13 - Classes de A e de B	62
Figura 14 - Esquema de cortes para a linha A	63
Figura 15 - Esquema de cortes para a linha B	63
Figura 16 - Tela inicial Software Optimize Nesting	64
Figura 17 - Tela de corte do Software Optimize Nesting	65
Figura 18 - Planos de corte propostos para a Linha A.....	65
Figura 19 - Planos de corte propostos para a Linha B.....	66
Figura 20 - Linha A particionada	66
Figura 21 - Medidas das partições da linha A.....	67
Figura 22 - Linha B particionada	67
Figura 23 - Medidas das partições da linha B.....	67
Figura 24 - Ilustração do padrão de fixação das cargas no paletes não permitindo empilhamento.....	69
Figura 25 - Contêiner com malha 2D	70
Figura 26 - Orientações da malha do contêiner utilizado no método heurístico proposto.....	70
Figura 27 - Fluxograma heurística proposta	73
Figura 28 - Dados para inserção no algoritmo	74
Figura 29 - Interface gráfica.....	75
Figura 30 - Dados de saída da heurística proposta para o contêiner 0.	76
Figura 31 - Solução gráfica da proposta heurística para o contêiner 0	77
Figura 32 - Visão geral de todos os contêineres necessários para o carregamento	77

Figura 33 - Página inicial software 2D Load Packer	81
Figura 34 - Incluindo os dados do contêiner no software	82
Figura 35 - Inclusão das caixas no modelo.....	83
Figura 36 - Tela de resultados gerado pelo software	84
Figura 37 - Impressão de relatórios após simulação.....	85
Figura 38 - Resultados obtidos pelo software 2D Load Packer	86
Figura 39 - Resultados obtidos pelo software 2D Load Packer - teste 2	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclaturas adotadas	61
Tabela 2 - Variação das dimensões dos paletes utilizados.....	68
Tabela 3 - Dimensões das cargas paletizadas	68
Tabela 4 - Quantidade de caixas carregadas no teste inicial.....	78
Tabela 5 - Quantidade de caixas carregadas no segundo teste	79
Tabela 6 - Comparação de Resultados - teste inicial com as caixas do tipo A.....	89
Tabela 7- Comparação de Resultados - segundo teste com as caixas do tipo B.....	89
Tabela 8 - Comparação de custos entre cenários	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Teste Inicial - Caixas inseridas nos contêineres.....	79
Gráfico 2 - Segundo teste - Caixas inseridas nos contêineres	80
Gráfico 3 - Caixas inseridas nos Contêineres - teste 1	90
Gráfico 4 - Caixas inseridas nos Contêineres - teste 2	90
Gráfico 5 - Ocupação dos Contêineres.....	91
Gráfico 6 - Comparação de custos entre as propostas	92

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 METODOLOGIA	16
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 A LOGISTICA E O TRANSPORTE	17
2.2 EMBALAGENS DE TRANSPORTE E SEGURANÇA DAS CARGAS	19
2.2.1 Paletes	19
2.2.2 O Contêiner	21
2.3 INTRODUÇÃO A PESQUISA OPERACIONAL	23
2.3.1 Definição de Pesquisa Operacional	24
2.3.2 A Construção de modelos	24
2.3.2.1 Modelos Matemáticos	25
2.4 TIPOS DE MODELO DE OTIMIZAÇÃO	26
2.4.1 Programação Linear	27
2.4.2 Programação Linear Inteira	29
2.4.3 Formulações de Problemas Clássicos	30
2.5 O PROBLEMA DA MOCHILA	31
2.5.1 O Problema da Mochila Binária	32
2.5.2 O Problema da Mochila Múltipla	33
2.5.3 O Problema de Empacotamento de Mochilas	34
2.5.4 Os Problemas de Corte	35
2.5.4.1 Classificação dos Problemas de Corte	36
2.5.4.1.1 Problema de Corte Unidimensional	37
2.5.4.1.2 Problema Bidimensional	38
2.5.4.1.3 Problema Tridimensional	40
2.5.4.1.4 Problema de dimensões fixas e variáveis	41
2.5.4.1.5 Problema Multidimensional	41
2.6 CARREGAMENTO DE CARGAS EM CONTÊINER	42

2.7 MODELOS DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE CARGAS EM CONTÊINER	44
2.8 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO	47
2.8.1 Métodos Exatos	48
2.8.1.1 Método Simplex.....	48
2.8.1.2 Branch-and-Bound (B&B).....	49
2.8.2 Método Heurístico	49
3. ESTUDO DE CASO	56
3.1 CARREGAMENTO UTILIZADO PELA EMPRESA	56
3.1.1 Custos envolvidos no cenário atual da empresa	59
3.2 CARREGAMENTO UTILIZANDO A METODOLOGIA PROPOSTA	60
3.2.1 Os Itens transportados	61
3.2.2 O corte dos equipamentos	62
3.3 MÉTODO HEURÍSTICO PROPOSTO	69
3.3.1 Resultados da Heurística.....	78
3.4 O SOFTWARE 2D LOAD PACKER	80
3.4.1 Análise dos resultados no Software 2D Load Packer	85
4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS OBTIDOS	88
5.CONCLUSÃO	94
REFERÊNCIAS.....	96
ANEXOS.....	100

1.INTRODUÇÃO

No século passado, segundo os relatos que se tem, os produtos mais importantes para a humanidade não eram encontrados na forma como acontece atualmente no século XX, onde os consumidores podem ir até eles a uma distância relativamente pequena. Os produtos eram disponíveis apenas em determinadas épocas do ano. Com isso, a armazenagem e o transporte foram sendo desenvolvidos em um ambiente hostil e de crescimento intenso (BALLOU, 2006).

Ainda para Ballou (2006) ao passo que, a logística tornou-se refinada, todo o consumo e a produção começaram a ter uma expansão geográfica. A partir de então momento, toda a produção considerada excedente, teria a oportunidade de ser enviada a outros lugares iniciando o conceito de essência de mercado.

Então estabeleceu-se o conceito de logística, que para Christopher (2011) é caracterizada como o processo de gestão estratégica da aquisição, movimentação e armazenagem de produtos, por meio da organização e comercialização, de tal forma que a lucratividade da empresa seja maximizada através da execução de pedidos.

Uma das grandes competições enfrentadas pelas empresas é o de permanecerem competitivas a medida que as condições no ambiente de negócio mudam e se tornam complicadas (ANDRADE, 2014).

Assim, um dos maiores focos da indústria na atualidade está relacionado a busca pela otimização de custos a fim de maximizar lucro e competitividade. Em uma cadeia de suprimentos, esses custos englobam desde a chegada da matéria prima, até a entrega do produto final (DELL VALE, 2010).

Para a chegada do produto no cliente, se faz necessário um transporte eficiente, otimizando uma série de custos como mão de obra, combustível, manutenção, cargas e descargas e administrativos (BALLOU, 2006).

Para a entrega do produto acabado, o transporte dos mesmos são feitos, utilizando recursos de embalagem disponíveis em mercado, por exemplo em contêineres de dimensões fixas (DELL VALE, 2010).

Com isso, o surgimento dos contêineres no final do século XVIII, a sua padronização global e de seus equipamentos de operação foram uma das maiores inovações logísticas do século XX (CUOCO, 2008).

Sabendo-se que o transporte é uma das atividades mais importantes dentro da logística, e que pode absorver até dois terços do seu custo (BALLOU, 1999) o objetivo principal do transporte do século XX, é minimizar o número de viagens e maximizar a forma de carregamento dos produtos e alocação dessa carga.

Com base nisso, o problema de carregamento de contêiner, como conhecido na pesquisa operacional, auxilia na tomada de decisão antes e durante uma operação, visto que o seu objetivo principal é determinar a configuração da carga tal que o volume ocupado em relação ao volume total disponível no contêiner seja maximizado, (VENDRAMINI, 2007).

A organização das cargas em contêineres é uma tarefa complexa, principalmente em empresas que possuem no transporte de carga um fator logístico e de alto custo. Os métodos manuais utilizados para estimar a quantidade de carga transportada de diferentes tamanhos são simples e não apresentam um desempenho satisfatório quando se tratam de grandes carregamentos. Algumas vezes, se faz necessário dividir a carga em diferentes contêineres para atender a capacidade máxima, por isso, melhorar o layout de carregamento dos contêineres é possível reduzir custos e tempo de carregamento e descarregamento (VENDRAMINI, 2007).

As empresas de logística unem a organização de seus clientes e fornecedores, com um bom planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz dos produtos a serem transportados. O objetivo é proporcionar o menor custo possível para os clientes, satisfazendo as suas necessidades e facilitando as operações relevantes da carga (CECILIO; MORABITO 2003).

Neste sentido, o trabalho contempla a comparação entre a otimização do layout de carregamento em contêineres utilizando o software 2D Load Packer disponível na internet, indicado para grandes carregamentos, e o desenvolvimento de uma nova proposta de solução baseada em métodos heurísticos considerando problemas de empacotamento e de corte.

1.1 OBJETIVOS

Neste tópico são informados os objetivos gerais e específicos para este trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

- Desenvolver uma heurística para otimizar a alocação de cargas dentro de contêineres em uma empresa de grande porte na região norte do estado de Santa Catarina, e posteriormente comparar os resultados com um software disponível de otimização.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar modelos para alocação de cargas em contêineres;
- Resolver a heurística para analisar os resultados;
- Resolver o mesmo problema utilizando o software 2 Load Packer;
- Comparar os resultados gerados entre os dois métodos e;
- Propor um novo cenário de alocação de cargas para a empresa em questão;

1.2 JUSTIFICATIVA

A ideia central do presente trabalho surgiu durante o período de realização do estágio em uma empresa de grande porte da Região Sul do Brasil, onde acompanhou-se os carregamentos, e encontrou-se grandes oportunidades de melhoria dentro dos processos acompanhados. A aplicação nesta empresa aconteceu devido à participação nas operações de transporte.

Ao estudar-se a demanda necessária de produtos em cada filial da empresa, viu-se a necessidade de transferir algumas linhas produtivas entre as mesmas. Essa reorganização das linhas produtivas contou com a ajuda de uma equipe multidisciplinar para preparar os equipamentos para o transporte.

Atualmente os especialistas da empresa utilizam o método manual para obter um layout para as cargas que deveriam ser carregadas nos contêineres, porém, os métodos manuais excessivos não garantem necessariamente um layout otimizado e que gere benefícios para a empresa e além disso, gastam horas de planejamento dos especialistas da área.

Por isso este trabalho apresenta uma proposta para o atual carregamento da empresa, baseado em otimização do um layout de carregamento atual, utilizando como recurso o software 2D LOAD PACKER e o desenvolvimento de uma proposta heurística.

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho será desenvolvido seguindo a metodologia descrita a seguir, que contempla as etapas de desenvolvimento, análise de resultados e validação dos objetivos já apresentados.

- Etapa 1 - Levantamento Bibliográfico:

Neste tópico apresenta-se as informações necessárias para compreensão do problema de carregamento de contêineres. Desde a paletização da carga e utilização de materiais específicos para transporte, até a minimização do volume ocioso dos contêineres abordados através dos modelos matemáticos apresentados.

- Etapa 2 – Aplicação da temática:

Neste tópico aborda-se o cenário atual da empresa em oposição ao cenário proposto pela modelagem heurística e a simulação com um software 2D Load Packer disponível na internet que se baseia em algoritmos de otimização de carregamento de contêineres.

- Etapa 3 – Análise de Resultados

Nesta etapa do trabalho mostram-se os resultados encontrados pelo método heurístico proposto em comparação ao software 2D Load Packer disponível. Este resultado será para avaliar a porcentagem de otimização da heurística proposta considerando que o software já está com os padrões de otimização calibrados para este tipo de problema.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A LOGISTICA E O TRANSPORTE

Partindo sob a perspectiva de análise de custos, o transporte reflete como um dos elos mais importantes do custo logístico. Para Fleury et al (2000) o transporte é responsável por em média 60 % das despesas logísticas. Para Ballou (2004) no que diz respeito as atividades logísticas, o transporte se tornou uma das mais importantes e que absorve em média de um a dois terços dos custos logísticos.

De acordo com Alvarenga e Novaes (2000), para se organizar um sistema de transporte é preciso ter uma visão sistêmica, que envolve principalmente a vertente de planejamento, mas para isso é preciso que se conheça: os fluxos nas diversas ligações da rede, o nível de serviço atual, o nível de serviço desejado, as características ou parâmetros sobre a carga, os tipos de equipamentos disponíveis e suas características (capacidade, fabricante etc) além dos parâmetros de carga, que envolvem: peso e volume, densidade média; dimensão da carga; dimensão do veículo; grau de fragilidade da carga; grau de perecibilidade; estado físico, assimetria, e compatibilidade entre cargas diversas.

Segundo Fleury et al (2000), um dos principais pilares da logística moderna é o conceito de logística integrada, fazendo com que as atividades e funções logísticas deixem de ser isoladas e passem a ser percebidas como um componente operacional da estratégia. Para esta integração, torna-se necessário a utilização de formas de padronização e armazenagem da carga, que possam proporcionar a estabilidade durante a operação e diminuir o risco de avarias durante o percurso

De acordo com Martins (2013), a partir da década de 90, o conceito de logística desenvolveu-se de modo a ser considerado todo o fluxo de materiais e informação desde os fornecedores até os clientes finais, ganhando cada vez mais importância e tornando-se imprescindível. Para Aguiar (2005), com a chegada da globalização entre os anos 2000, a customização e a terceirização tornaram a logística o principal elo

entre a recepção, administração e distribuição física de materiais, visando obter vantagem competitiva às empresas e mantendo os níveis de serviços exigidos.

Por isto, construir e monitorar um fluxo eficiente e eficaz de armazenamento de mercadorias, serviços e informação desde o ponto de origem até ao ponto de consumo geram benefícios à empresa e atendem às grandes exigências dos clientes.

Além disso, Martins (2013) acrescenta que com as diversas mudanças do mercado, a definição do valor para o cliente sofre constantes alterações, determinando custos e nível de serviço pela concorrência, resultando na necessidade de reduzir custos e melhorar serviços desde a otimização de processos produtivos nos fluxos internos até a otimização do sistema de armazenamento de matérias-primas e produto acabado, controle de estoque e tipos de transporte.

Para atuar sobre os custos de transporte e para tentar minimizá-los o primeiro ponto passa por uma boa gestão baseada essencialmente nas embalagens e como arranjá-las durante o transporte. Segundo Martins (2013) a embalagem influencia diretamente no custo dos produtos ao longo da cadeia de abastecimento, particularmente no que diz respeito aos componentes relativos à mão de obra associada. Deste modo, podemos afirmar que a embalagem afeta os custos de todas as atividades logísticas, pois está relacionada com a produtividade dos sistemas logísticos. Os custos de transporte e os custos de estoque estão relacionados com a dimensão e densidade da embalagem, bem como custos de manuseio dependem da concessão da embalagem individual.

A primeira abordagem para carga unitizada levava em consideração o processo que se dava através de amarrados, tambores e redes. Posteriormente a estes meios, originou-se os paletes e contêiner, o que contribuiu para a otimização e crescimento dos transportes de carga (AMARAL, 2008).

Para Bowersox e Closs (2001), a padronização e a unitização da embalagem são veículos necessários para a redução dos custos no sistema logístico. A padronização é essencial por permitir a relação entre a embalagem e a movimentação de materiais uma vez que tem como objetivo limitar a variabilidade da embalagem. Já a unitização permite a diminuição de avarias, agilidade e rapidez ao manusear cargas; sendo a paletização e a embalagem em contentor os principais meios de unitização.

Avaliando-se este cenário, a unitização de cargas se tornou uma das estratégias mais eficazes para a utilização do transporte de produtos ao longo de toda a cadeia de suprimentos (POLL, PUREZA 2012). Ainda para os autores, as cargas

unitizadas na verdade se tratam de volumes unitários padronizados em paletes ou caixas e contêineres de maneira que o layout final do carregamento respeite as dimensões de comprimento, largura e altura indicados.

Segundo Morabito (1992) os itens disponíveis para o carregamento nos contêineres podem estar simplesmente soltos ou paletizados, visto que este último facilita o carregamento do contêiner (estofagem) e o descarregamento do contêiner (desova) por meio das empilhadeiras.

Em linhas gerais, a padronização das cargas em paletes auxilia toda a operação de transporte, além de fornecer ao cliente segurança da carga durante o período de transporte do seu produto. No próximo tópico serão tratadas algumas formas de fixação da carga dentro do contêiner, ressaltando os problemas de avarias que acontecem durante o transporte devido a uma unitização/ paletização ou fixação da carga mal efetuada.

2.2 EMBALAGENS DE TRANSPORTE E SEGURANÇA DAS CARGAS

Neste tópico serão abordados alguns tipos de embalagens utilizados para transporte de cargas e sua relação com a segurança da carga. Posteriormente será utilizado este conceito na aplicação do caso real que se baseia este trabalho.

2.2.1 Paletes


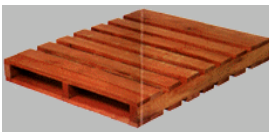



Bertaliga (2003) define o palete como uma plataforma feita de madeira, metel ou até mesmo de fibra, que serve para movimentar as cargas carregadas através de empilhadeiras, paleteiras e guindastes. Além de ser um ótimo mecanismo de unitização das cargas, facilita o empilhamento e principalmente a armazenagem. Dentre as duas principais vantagens está a redução de custos nas etapas logísticas que envolvem movimentação, transporte e armazenagem dos itens, devido a agilidade nos tempos de carga e descarga.

Para Amaral (2008) o formato dos paletes pode ser quadrado ou retangular, dependendo das dimensões do item a ser carregado. O palete deve ser suficientemente resistente e adequadamente construído, para que possa atender as necessidades de segurança, principalmente para:

- Sustentar a carga, seja ela em repouso ou movimentada;
- Permitir a movimentação e a manipulação da carga unitizada através de equipamentos mecânicos, tanto em terra, quanto nos veículos transportadores (embarques e desembarques).

A seguir mostra-se na Figura 1 um quadro comparativo com alguns tipos mais comuns de paletes e suas características.

Figura 1 - Comparativo de paletes

Tipo Pallet	Descrição	Imagem
2 entradas, face única	Utilizado como pallet descartável; Possui baixo custo, pois utiliza pequena quantidade de madeira; É o mais simples dos pallets, sendo versátil e leve; Pode ser movimentado tanto por empilhadeiras quanto por carrinhos.	
2 entradas, face reversível	Utilizado para o sobre-empilhamento (face inferior oferece estabilidade à pilha e não danifica os produtos da pilha abaixo); Pode ser utilizado nas duas faces, por isso é chamado reversível; É mais resistente em cargas estáticas, mas perde em flexibilidade; Movimentação por empilhadeiras.	
2 entradas com reforço inferior	É mais resistente que a face única e mais barato que a dupla face; Sua resistência à carga é adequada (reforço inferior não permite o envergamento do pallet); Pode ser movimentado por empilhadeiras ou carrinhos.	
4 entradas, dupla face não reversível	Muito versátil; As quatro faces permitem o acesso à pilha por qualquer lado (otimiza a utilização do espaço dentro do estoque e facilita a carga); Permite bastante estabilidade no sobre-empilhamento devido às suas largas tábuas na face inferior; Sua movimentação se dá através tanto de empilhadeiras quanto carrinhos.	
4 entradas dupla face reversível	É o mais pesado de todos os pallets; É o mais resistente e de maior durabilidade; Não é aconselhável para pallets descartáveis devido a seu custo; Indicado para cargas muito pesadas e armazenamento duradouros; Sua movimentação é realizada através de empilhadeiras.	

Fonte: Adaptado de AMARAL (2008)

Verificou-se através da Figura 1 que para o presente trabalho, devido ao peso dos itens carregados e da versatilidade, será utilizado o pallet modelo 4 entradas, dupla face não reversível. Conforme descrito por Cavalli e Baumgartner (2014)

inúmeras são as vantagens da utilização do procedimento de paletização, por exemplo:

- Satisfatória utilização dos espaços do contêiner;
- Diminuição de acidentes nas movimentações das cargas;
- Redução do tempo de operação para carregamento e descarregamento;
- Diminuição dos danos ocasionados ao produto;
- Redução significativa dos furtos visto que os itens individuais são unitizados por cintas, faixas ou filmes;
- Eliminação dos custos do sistema de transporte e entregas, cargas e descargas dentro de qualquer ponto acessível por equipamentos de movimentação.

Além dos diversos tipos de paletes que podem ser utilizados no transporte de carga em contêineres, existem alguns materiais de embalagem que garantem estabilidade da carga, fixação da mesma no palete e no contêiner, além de auxiliar no controle da umidade durante os dias de transporte.

Apesar das embalagens de transporte parecem de pouca importância, elas são entretanto, fundamentais no comércio internacional. Além de satisfazerem uma série de objetivos comuns e necessários ao transporte de carga, protegem a mercadoria, evitam avarias e roubos, e buscam equilíbrio entre as funções de custo, tanto do ponto de vista do material empregado, como do tempo necessário para realizar a operação de embalagem (AMARAL, 2008).

2.2.2 O Contêiner

Vieira (2003) salienta a agilidade e entrega segura no destino com as adequações dos contêineres. São as inúmeras vantagens descritas por Keedi (2003) que levaram várias empresas migrarem para o sistema de unitização.

Conforme Amaral (2008), a conteineirização é a inserção e arrumação de diferentes volumes de carga, podendo formar ou não um lote homogêneo para o carregamento, cujo lote deve estar devidamente fixado no interior do contêiner formando uma unidade estática.

Para Rodrigues (2003) os contêineres são estruturas padronizadas em âmbito internacional, que possuem dimensões retangulares, construídas em aço, alumínio ou fibra, e cada um deles registrado com uma numeração exclusiva.

Os contêineres são identificados com números, definição de espaço e peso que podem suportar. Estas características de identificação (permitem rastreamento) e resistência fornecem ao contêiner as vantagens sobre os demais equipamentos para unitização, dentre elas: redução de custo no transporte, rapidez, inviolabilidade e segurança. A seguir é possível encontrar a definição proposta por Utida (2012) com relação aos diversos tipos de contêineres disponíveis.

- Dry Box: É um contêiner muito usado, totalmente fechado com portas somente nos fundos e sendo adequado para transportar cargas secas e pesadas;
- Open Top: É um contêiner totalmente fechado, com aberturas no teto usado para transporte de cargas como produtos agrícolas;
- Flat Rack: É um contêiner sem as paredes laterais e sem teto, utilizado cargas muito pesadas e grandes;
- Reefer: É um contêiner totalmente fechado com portas no fundo. Serve para cargas que necessitam de controle de temperatura e os;
- Contêineres Modulares: São os contêineres que servem de escritórios, dormitórios, guaritas, ambulatórios médicos, sanitários, depósitos, estandes para feiras e eventos, etc.

É importante destacar que existem normas previstas na legislação nacional e internacional para os contêineres. Os contêineres são recipientes construídos de materiais resistentes, a fim de fornecer o transporte de mercadorias com segurança aduaneira e que deve responder as condições técnicas e de segurança previstas pela legislação nacional e pelas convenções internacionais previstas no Brasil (BERTAGLIA, 2003).

Como descrito neste tópico, o contêiner se tornou imprescindível nas movimentações e fluxo de transportes logísticos, principalmente por sua padronização e facilidade na operação. Mas, um dos grandes benefícios do contêiner é a questão

da segurança e de possível rastreamento da carga durante o transporte, tornando o serviço mais seguro e confiável para o cliente.

Após alocada a carga no contêiner, as empresas buscam melhorar os layouts de carregamento, para que juntamente com a combinação dos materiais de transporte, todo o custo e tempo envolvido no processo seja minimizado.

Para isso, diversos autores estudam o problema de carregamento de contêiner dentro da pesquisa operacional, procurando métodos de melhorar o carregamento e maximizar o espaço ocupado. Todos estes recursos combinados fornecem uma diminuição significativa do capital investido para entregar o produto ao cliente final.

É através da pesquisa operacional que as melhorias de layout acontecem e que o modelo matemático pode contribuir para a cadeia logística de transporte como um todo. Neste sentido, as próximas seções abordarão a pesquisa operacional aplicada aos problemas de carregamento de contêiner, considerando as cargas já paletizadas, preparadas para o transporte e bem fixadas dentro dos contêineres.

2.3 INTRODUÇÃO A PESQUISA OPERACIONAL

Não restam dúvidas de que a Pesquisa Operacional foi uma das mais importantes descobertas da matemática aplicada. Considerando o contexto econômico e redução de custos, a Pesquisa Operacional pode ser comparada a descobertas como divisão do trabalho, o motor a vapor, a produção em massa e a tecnologia da informação (COLIN, 2013).

Conforme descrito por Taha (2008), as primeiras funções formalizadas da utilização da pesquisa operacional foram inauguradas na Inglaterra, durante a Segunda Guerra Mundial, quando se teve a oportunidade de tomar decisões com bases científicas, suportadas por uma equipe de cientistas britânicos.

Desde o seu nascimento, este novo campo de análise de decisão ficou caracterizado devido à utilização de métodos científicos e diversas técnicas qualitativas com o objetivo de determinar a melhor alocação de recursos limitados. Este atributo, levou a Pesquisa Operacional a um novo patamar, com enfoque na análise sistêmica, que englobou os problemas de tomada de decisão das empresas (ANDRADE, 2014).

2.3.1 Definição de Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional trata da execução e coordenação de operações dentro de uma organização e devido a sua grande aplicabilidade, tem sido utilizada em diversas áreas dentro da indústria, finanças, saúde, serviços públicos. Ela baseia-se principalmente no tratamento de métodos científicos para a resolução dos problemas em questão (MOREIRA, 2010).

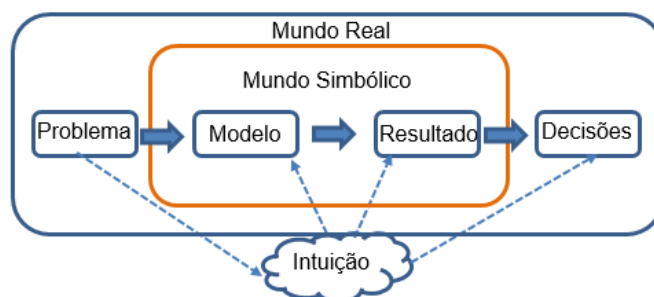
Ainda para Moreira (2010), dentro da Pesquisa Operacional busca-se encontrar a melhor solução ou comumente chamada de solução ótima para o problema em estudo. É importante lembrar que muitas vezes este ótimo é determinado através da visão matemática, e por isso, muitas vezes o modelo não consegue englobar variáveis comportamentais, por exemplo.

Devido a estas questões, a construção de um modelo bem refinado que realmente possa representar a realidade do problema em foco, define e contribui para uma tomada de decisão mais eficiente.

2.3.2 A Construção de modelos

Quando gestores diversos tem em sua frente problemas complexos e que demandam tomada de decisão por parte deles, eles podem optar por duas saídas básicas: utilizar a intuição gerencial ou efetuar a modelagem do processo da situação em questão, a fim de simular os cenários e seguir por uma diretriz (LACHTERMACHER, 2009).

Figura 2 - Processo de Tomada de Decisão

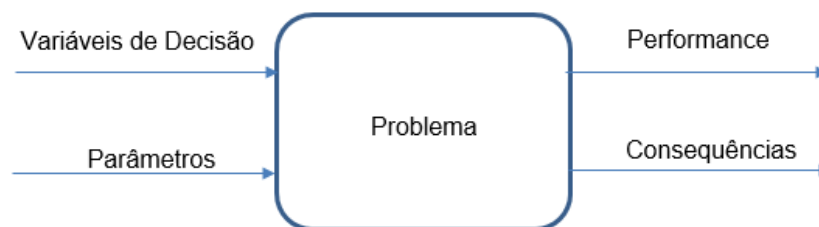


Fonte: Adaptado de TAHA (2008)

Assim como na Figura 2, inicialmente, se faz necessário reconhecer o problema. Após este processo, define-se um objetivo para o problema, através da formulação de um modelo matemático quantitativo. Posteriormente, deve ser encontrada uma forma de solução para este modelo, considerando os fatores imponderáveis e então implementar a situação real (MOREIRA, 2010).

Para melhor compreensão dos passos de construção do modelo, a Figura 3 exemplifica o processo de solução de um problema de pesquisa operacional.

Figura 3 - Representação de utilização de modelo



Fonte: (LACHTERMACHER 2010)

A sistemática da Pesquisa Operacional é mais desenvolvida quando se trata de problemas que podem ser representados através de modelos matemáticos (ANDRADE, 2014).

2.3.2.1 Modelos Matemáticos

Conforme já mencionado, a sistemática da Pesquisa Operacional é eficiente e aplicável quando se trata de problemas representados através de modelos matemáticos. O modelo mais apropriado para o problema que se pretende resolver depende de diversos fatores:

- O nível de incerteza associado ao ambiente da decisão;
- Os objetivos da decisão;
- A relação matemática entre as variáveis;
- A extensão do controle sobre as variáveis de decisão.

Com base nestas considerações, os modelos matemáticos são divididos em duas categorias, os modelos de simulação, e os de otimização (ANDRADE, 2014).

- **Modelos de Otimização**

Nos modelos de otimização, não existem permissões de flexibilidade na escolha das alternativas, já que é estruturado para selecionar apenas uma das alternativas, que será chamada de ótima. Os critérios de escolha da solução ótima são pré-definidos e fazem parte da estrutura do modelo que através da análise matemática, busca a melhor alternativa. Os modelos de otimização são denominados mais especializados e tem a solução ótima como ponto de partida da decisão (ANDRADE, 2014).

- **Modelos de Simulação**

Diferentemente do modelo descrito anteriormente, os modelos de simulação oferecem uma representação do mundo real que permite uma análise prévia das alternativas antes da implementação. Por isso, existe certa liberdade ao modelo, podendo responder questionamentos incertos, através da avaliação de diferentes cenários (ANDRADE, 2014).

2.4 TIPOS DE MODELO DE OTIMIZAÇÃO

Conforme descrito por Taha (2008):

Em PO, não temos uma única técnica para resolver todos os modelos matemáticos que podem surgir na prática. Em vez disso, o tipo e a complexidade do modelo matemático é que determinam a natureza do método de solução. A técnica mais utilizada de PO é a programação linear. Ela é aplicada a modelos cujas funções objetivo e restrição são lineares. Outras técnicas são a programação inteira (nas quais as variáveis assumem valores inteiros), a programação dinâmica (na qual o modelo original pode ser decomposto em subproblemas mais fáceis de tratar), a otimização em redes (na qual o problema pode ser modelado como uma rede) e a programação não linear (na qual as funções do modelo são não lineares).

Assim, apesar de este trabalho contemplar o desenvolvimento de uma heurística para resolver o problema de cargas em contêiner, o tema escolhido é tratado em grande parte dos estudos como um problema de programação linear inteira, e diversos modelos famosos bem consolidados se fazem presente. Por isso, a fim de ampliar o horizonte deste referencial teórico, serão abordados alguns modelos englobados pela programação linear inteira e que posteriormente originam o problema de cargas em contêineres mais conhecidos.

2.4.1 Programação Linear

O estudo da programação linear tem raízes nos trabalhos de Fourier sobre equações lineares, publicados em 1826, mas a programação linear ganhou grande impulso quando, durante a II Guerra Mundial, um grupo formado por Dantzig, Wood e seus associados no Departamento da Força Área dos Estados Unidos, foi convocado para pesquisar a viabilidade de aplicar a matemática e técnicas relacionadas para resolver problemas de planejamento e programação militar (MENEZES, 2006).

A Programação Linear como é conhecida nos dias de hoje, foi iniciada apenas após a segunda guerra mundial. Dantzig trabalhou no pentágono como especialista em planejamento e programação de atividades militares, no órgão de defesa americano. Compreendendo que Dantzig estava interessado em mudar de emprego, D. Hitchck e M. Wood propuseram que ele criasse um método que pudesse tornar mais prático o processo de planejamento que estava sendo utilizado na época (COLIN, 2013).

O grande passo de Dantzig foi ter desenvolvido a concepção do problema como a minimização de uma função linear sujeita a equações e inequações também lineares. Após várias tentativas de solucionar o problema e a confirmação de que não se tinha um método de solução, Dantzig resolveu tentar uma solução o que acabou originando na criação do Algoritmo Simplex (COLIN, 2013).

Então, foi no ano de 1947, que o pesquisador Dantzig divulgou a grande obra desenvolvida por ele: Método Simplex. Em pouco tempo, a programação linear foi aplicada a diversas áreas do conhecimento e os avanços computacionais também contribuíram para o aumento da utilização da ferramenta, sendo que, cada vez conseguiu-se resolver problemas em escalas maiores (FARIAS, 2011).

Em geral, a Programação Linear trata dos problemas de alocações ótimas para recursos essencialmente escassos em determinados processos. Os recursos denominados escassos, representam na realidade a ideia da existência finita de recursos, por mais abundantes que eles possam ser (COLIN, 2013).

Os problemas de Programação Linear, como qualquer outro da Pesquisa Operacional são compostos por três partes básicas: variáveis, objetivo e restrições. As variáveis, são comumente denominadas de variáveis de decisão e são os valores que procuramos determinar. Por outro lado, o objetivo, é o que efetivamente precisamos determinar, seja maximizando ou minimizando, e as restrições, são as limitações que o modelo está submetido e que devem ser satisfeitas pela solução final (TAHA, 2008).

Após entendido este conceito, apresenta-se a seguir a forma padrão para o problema de otimização linear, seguindo o modelo descrito por Arenales et al. (2014).

$$\text{Minimizar } f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

Sujeito as restrições:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (3)$$

$$\vdots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \quad (4)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0. \quad (5)$$

A função linear em (1) é chamada de função objetivo que deve ser minimizada. Em (2), (3) e (4), são definidas as restrições para o problema juntamente com a restrição de não negatividade das variáveis (5) (ARENALES *et al*, 2014).

Dentro da categoria de problemas de programação linear, encontram-se variações para o mesmo, como tratar este problema de forma inteira, considerando valores inteiros na solução. Este tema será abordado com mais enfoque na próxima sessão.

2.4.2 Programação Linear Inteira

Os problemas de Programação Linear Inteira, são semelhantes aos problemas de Programação Linear, a grande diferença está em que pelo menos parte das variáveis de decisão são inteiras. Considerando o tema de programação matemática, existem duas classes importantes de problemas: a de números inteiros genéricos (1,2,3,...) e os números inteiros 0-1 (COLIN, 2014).

Ainda para Colin (2014), em programação inteira, é possível designar três grandes grupos de problemas, e classificá-los da seguinte forma:

- Problemas de Programação Inteira com Variáveis 0 ou 1: São problemas binários, onde todas as variáveis assumem um dos dois valores;
- Problema de Programação Inteira Mista: Parte das variáveis assumem valores inteiros e as demais podem assumir valores contínuos, como na Programação Linear e;
- Problemas de Programação Inteira Pura: Todas as variáveis são inteiras.

Em teoria, os problemas de Programação Inteira, são capazes de serem analisados como problemas de Programação Linear adicionando uma restrição de que as variáveis devem ser inteiras. Este conceito, agrega a ideia de que tendo um problema de Programação Inteira é possível que o mesmo seja relaxado em um problema de Programação Linear, e este conceito define alguns limitantes do problema de Programação Linear. Em outras palavras, para um problema de minimização (COLIN, 2014):

$$\begin{aligned} &(\text{Valor ótimo da relaxação de PL de um problema de PI}) \leq \\ &(\text{Valor ótimo do problema de PI}) \end{aligned} \tag{6}$$

E para o caso de maximização

$$\begin{aligned} &(\text{Valor ótimo da relaxação de PL de um problema de PI}) \geq \\ &(\text{Valor ótimo do problema de PI}) \end{aligned} \tag{7}$$

Esta classe de problemas possui fácil resolução quando se trata de problemas de pequeno porte. Quando a quantidade de variáveis aumenta, são necessários métodos heurísticos para a resolução, mas atualmente existem ferramentas computacionais desenvolvidas para resolver problemas complexos, fornecendo o resultado ótimo. Essas ferramentas serão abordadas no próximo capítulo.

2.4.3 Formulações de Problemas Clássicos

A programação Linear Inteira pode ser aplicada a diversos problemas existentes atualmente, e seus principais modelos são:

- Problema da Mochila: consiste na ideia de escolher itens que devem ser inseridos em uma ou mais mochilas de forma a maximizar uma função de utilidade;
- Problemas de Corte: consiste em cortar itens disponíveis de tamanho único L para a produção de m tipos de itens (itens com tamanho inferior);
- Problemas de Designação: envolvem os problemas de atribuições de tarefas a agentes, que são termos genéricos com significado específico em um problema real;
- Problemas de cobertura, partição e empacotamento de conjuntos: Este tipo de problema têm uma natureza parecida entre si e englobam a seleção de uma coleção de subconjuntos em um conjunto maior;
- Problemas do Caixeiro Viajante: essa classe de problema, abrange um conjunto de cidades em que existe um caixeiro partindo de uma cidade origem, retornando a mesma e passando por todas as outras cidades uma única vez e;
- Problema do Carteiro Chinês: esses problemas pertencem a classe de roteamento em arcos e tem como meta passar por todos os arcos uma única vez minimizando o custo total (ARENALES *et al.*, 2014).

Na próxima sessão, serão detalhados os modelos que englobam o problema da mochila e salientado a sua aplicação com o problema de carregamento de contêineres.

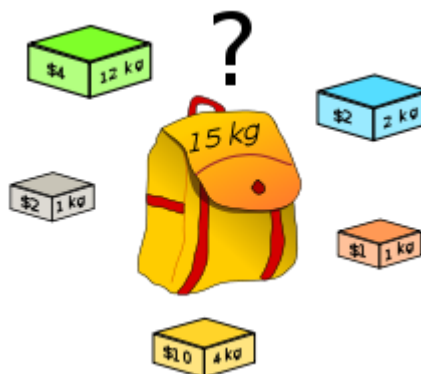
2.5 O PROBLEMA DA MOCHILA

Para esta sessão baseou-se na descrição de problemas de Programação Linear Inteira seguindo o modelo proposto por ARENALES *et al.* em 2014.

Dentre os mais importantes modelos estudados pela Programação Linear Inteira, destaca-se o problema da mochila, também denominado por *knapsack problem* e caracteriza-se pelo estreito relacionamento com um grande número de outros modelos de programação (GOLDBARG e LUNA, 2005).

Conforme descrito em Taha (2008), este tipo de problema lida com a dúvida da situação de escolha, por exemplo, escolha de quais itens um soldado deve carregar de forma a maximizar a utilidade da sua mochila, ou seja, carregar os itens mais importantes e que serão mais utilizados durante um combate.

Figura 4 - Ilustrativo sobre a escolha do item a ser inserido na mochila



Fonte: Autor Desconhecido.

Para um entendimento básico e fácil, o problema da mochila, conforme ilustrado na Figura 4, consiste basicamente em preencher uma mochila sem ultrapassar uma determinada restrição de peso buscando otimizar o valor do produto carregado. Possivelmente retratado pela primeira vez por Dantzig e foi oficializado como um marco das técnicas de programação, otimização combinatória e programação dinâmica (GOLDBARG e LUNA, 2005).

Caracteriza-se por problema da mochila, os modelos que contém uma mochila de capacidade W e n itens, sendo m_i o número de unidades do item i na mochila, e definindo r_i e w_i como a receita e o peso por unidade do item i (ARENALES *et al* 2014).

A representação do modelo pode ser definida por:

$$\text{Maximizar } z = r_1 m_1 + r_2 m_2 + \dots + r_n m_n \quad (6)$$

$$\text{Sujeito a: } w_1 m_1 + w_2 m_2 + \dots + w_n m_n \leq W \quad (7)$$

$$m_1, m_2, m_n \geq 0 \text{ e inteiros} \quad (8)$$

Ainda dentro da classificação de problemas da mochila, pode-se ramificar em mais três categorias diferentes, alterando algumas de suas restrições, o alvo da função objetivo e a solução ótima. A seguir serão detalhados os demais tipos de problema da mochila.

2.5.1 O Problema da Mochila Binária

A mochila binária é aplicada principalmente em problemas que requerem a inserção ou não de um elemento denominado importante dentro da mochila. Pode ser utilizado em diversos casos, como por exemplo a seleção de projetos ou produtos que devem ser carregados (ARENALES *et al.*, 2014).

Para Cáceres *et al.* (2006) o problema da mochila é clássico e possui uma grande quantidade de aplicações e sua principal dificuldade são as típicas da programação inteira.

Considerando um dado projeto j que possui um custo a_j e um retorno esperado p_r . Tem-se por objetivo selecionar os projetos que maximizem o retorno total esperado sem ultrapassar o limite de capital. Em um problema de inserção de produtos na mochila, tem-se como função objetivo maximizar o carregamento dos itens, considerando a capacidade máxima da mochila.

O modelo pode ser representado por:

$$\text{Sendo, } x_j = \begin{cases} 1, \text{ caso o projeto } j \text{ seja selecionado;} \\ 0, \text{ caso contrário a afirmativa acima;} \end{cases}$$

O problema é então formulado como:

$$\text{Maximizar } \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad (9)$$

Sujeito as restrições:

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b \quad (10)$$

$$x \in \{0,1\} \quad (11)$$

A função objetivo de maximização, expressa o retorno esperado, e a restrição (10) indica que o capital b não pode ser excedido. A última restrição representa o domínio das variáveis. Este problema é tratado como problema da mochila, devido a escolha de projetos que devem ser executados. É definido por um problema de otimização combinatória (ARENALES *et al.*, 2015).

Quando se tem um problema de volume da mochila, pode-se aplicar o modelo de mochila múltiplas, que será abordado a seguir.

2.5.2 O Problema da Mochila Múltipla

Este problema é definido considerando que diversos itens n devem ser inseridos em várias mochilas m de capacidades diferentes b_i . Cada um dos itens que deseja-se inserir, possui uma lucratividade p_j e um peso w_j . O objetivo é então definir quais itens serão inseridos em quais mochilas, sendo que ocupem a capacidade máxima das mesmas e o lucro seja maximizado. Este problema pode ser aplicado a carregamento de contêineres e em situações de corte nas indústrias de papel e aço, por exemplo (ARENALES *et al.* 2015).

Definindo as variáveis:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{caso o item } j \text{ seja inserido na mochila } i; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

O problema pode ser modelado por:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_j x_{ij} \quad (12)$$

Sujeito as restrições:

$$\sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$x \in \{0, 1\} \quad (15)$$

A função objetivo definida em (12) maximiza o lucro total inserido na mochila. Já as restrições (13) asseguram que a capacidade b_i da mochila i não pode ser ultrapassada. A restrição (14) considera que se o item j é escolhido, então ele deve ser alocado em uma única mochila. E por fim, a restrição (15) define o tipo das variáveis (ARENALES *et al.*, 2015).

Para o carregamento de contêineres, foco deste trabalho, existência de n produtos com pesos $W_i, i = 1, 2, \dots, n$ e M contêineres (mochilas) distintas de capacidades $b_i, i = 1, 2, \dots, M$. modelo descrito acima pode ser generalizado para a existência de K tipos de pesos dos produtos ($w_{ij}, j = 1, 2, \dots, K$).

Na aplicação de carregamento de contêiner, ainda se tem a necessidade de empacotar itens com formatos parecidos e carrega-los em paletes ou contêiner de forma a minimizar o espaço ocupado por estes produtos. Este modelo é descrito por Arenales *et al.* (2015) como o problema de empacotamento de mochilas e será tratado no próximo tópico.

2.5.3 O Problema de Empacotamento de Mochilas

Na seção anterior, foi abordado o problema das mochilas múltiplas, considerando diversas mochilas disponíveis para o carregamento de itens. O problema que será descrito agora, pode também ser encontrado na literatura como *bin packing*.

O objetivo é determinar o número mínimo de mochilas de mesma capacidade que empacotem n itens de peso $w_j, j = 1, 2, \dots, n$. Este problema é um dos diversos tipos de problemas de empacotamento que envolvem também o arranjo de objetos em dispositivos bidimensionais e tridimensionais, como por exemplo o carregamento em paletes ou contêineres (ARENALES *et al.* 2015).

A definição das variáveis se dá por:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se a mochila } i \text{ é utilizada} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o item } j \text{ é colocado na mochila } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Então, tem-se a formulação matemática dada por:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n y_i \quad (16)$$

Sujeito as restrições

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \leq b \times y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

$$x \in \{0,1\} \quad (19)$$

Para a formulação dada, tem-se a função objetivo que minimiza o número de mochilas a serem utilizadas. Uma das diferenças entre o modelo anterior, é que o limitante superior do número de mochilas é igual ao número de itens n . As restrições descritas em (17) confirmam que cada um dos itens j é inserido em uma única mochila e as restrições (18) determinam que, se a mochila i é usada, então sua capacidade b_i não pode ser ultrapassada. Ao final, a restrição (19) caracteriza o tipo das variáveis.

No próximo tópico será tratado os problemas de corte que são englobados pelos problemas de otimização linear e contribuem para o desenvolvimento do método de resolução do problema de cargas em contêiner.

2.5.4 Os Problemas de Corte

Cortar unidades maiores em unidades menores e empacotar essas unidades em unidades maiores são problemas complicados e que demandam tempo de execução. O problema de corte é classificado como um problema de Programação Linear Inteira, já que as variáveis de decisão do problema são sempre positivas e inteiras. Para este modelo, as principais pesquisas surgiram na década de 60. O russo Leonid Vitaliyevich Kantorovich foi o primeiro a apresentar uma documentação que

trata do problema, apresentando modelos matemáticos de programação linear para o planejamento e organização da produção.

Devido à importância e grande aplicação dos problemas de corte, vários pesquisadores tem concentrado suas pesquisas no desenvolvimento de métodos para a resolução do problema, as primeiras tentativas consistiram em fazer uma relaxação das condições de integralidade das variáveis e resolver aplicando o Simplex. Após a resolução, o valor encontrado era truncado para o valor inteiro mais próximo e ajustes eram feitos para atender o restante da demanda, por exemplo (MOSQUERA, 2007).

A seguir, serão abordados os tipos de problema de Corte. Este levantamento se faz necessário, visto que a heurística que será abordada futuramente para resolução do problema de alocação de carga em contêineres terá como base as formulações e conceitos que estão sendo apresentados.

2.5.4.1 Classificação dos Problemas de Corte

Conforme Queiroz (2010) algumas vezes, os produtos que estão estocados nos armazéns necessitam ser fragmentados em menores partes, caracterizando o famoso problema de corte (Cutting Problem). Por outro lado, estes itens fragmentados devem ser empacotados em recipientes ou caixas e caracterizam um problema de empacotamento de produtos (Packing Problem). Não importa o termo utilizado, o objetivo é sempre otimizar o trabalho/operação efetuada, minimizando o desperdício de matéria-prima, ou, maximizando o uso da caixa.

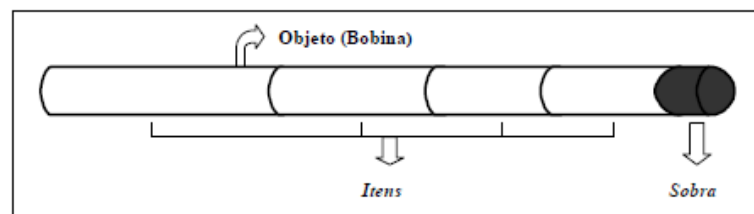
Os problemas de corte e empacotamento podem ser classificados mediante a suas dimensões durante o processo de corte ou empacotamento. Para Dychkoff (1990) pode-se dizer que os Problemas de Corte e Empacotamento são problemas de combinações geométricas e podem ser divididos em problemas com dimensões espaciais e não espaciais. Além disso, o autor leva em conta o tipo de alocação, sortimentos dos objetos e sortimentos dos itens. Os problemas podem ser caracterizados em basicamente três grandes grupos, e serão descritos abaixo.

2.5.4.1.1 Problema de Corte Unidimensional

Segundo Mosquera (2007) o problema unidimensional consiste na designação de objetos que devem ser cortados ao longo do seu comprimento para a produção de itens menores, com valores já determinados. Cada um desses itens particionados, terá um valor denominado por “valor utilidade” e os itens que possuem comprimento sem especificação são considerados perdidos, e por isso, sua utilidade é considerada nula.

Este problema é tratado como problema de otimização combinatória, cujo principal objetivo é encontrar os itens de tamanhos especificados a partir do corte de objetos maiores de forma que se encontre o maior valor de utilidade total, dado pela soma total dos valores de utilidade dos itens produzidos. Um exemplo conhecido para este tipo de corte são os cortes efetuados em bobinas de aço e de papel, conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Plano de Corte unidimensional gerado em um objeto



Fonte: (MARQUES, 2000)

Para o problema de Corte Unidimensional, Andrade *et al* (2015) traz uma formulação matemática cujo objetivo principal é minimizar o número de barras que serão cortadas, dado um valor limitante de barras disponíveis n . A primeira modelagem deste problema, foi apresentada em 1939 por Kantorovich e é apresentada por:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se a barra } i \text{ é utilizada;} \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \text{número de vezes que o item } j \text{ é cortado na barra } i;$$

A formulação do modelo é dada por:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n y_i \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq b_j, \forall j = 1, 2, \dots, m \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^m l_j x_{ij} \leq L y_i, \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (22)$$

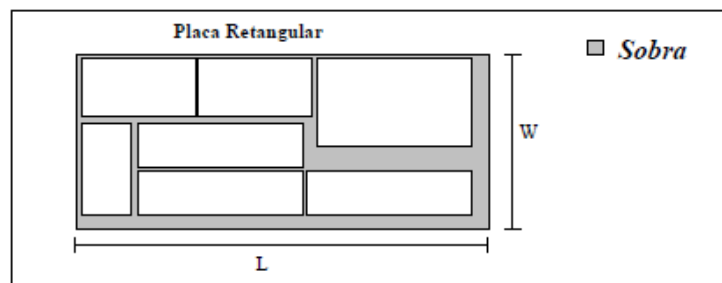
$$Y_i \in \{0,1\}, i = 1, 2, \dots, n, X_{ij} \in \{0,1\}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (23)$$

Nesta formulação, a função objetivo apresentada em (20) representa a minimização do número de barras. A seguir, as restrições destacadas em (21) asseguram que cada demanda b_j é atendida, a restrição (22) garante que se a utilização da barra i é utilizada, o comprimento total dos itens é limitado pelo comprimento total L da barra (ANDRADE *et al.* 2015).

2.5.4.1.2 Problema Bidimensional

Para o problema bidimensional, a dificuldade está em se obter um conjunto de itens menores, com dimensões diversas pré definidas, que serão obtidos do corte de objetos maiores, com dimensões determinadas. Para isto, o comprimento e a largura serão levados em conta durante o processo. Os casos bidimensionais podem ser aplicados a corte de painéis de madeira e/ou compensados na indústria de móveis, placas de vidro entre outros conforme pode ser visto na Figura 6 (MOSQUERA, 2007).

Figura 6 - Plano de Corte Bidimensional em uma placa retangular



Fonte: (MARQUES, 2000)

Ao considerar uma placa retangular (L, W) de comprimento L e largura W a ser cortada em m tipos de peças retangulares menores, é possível formular o problema de corte bidimensional, considerando que a peça do tipo i tem dimensões

(l_i, w_i) , sendo l_i a largura e w_i o comprimento e valor de v_i . Sendo ainda, P_i e Q_i o número mínimo e máximo de peças do tipo i que podem ser cortadas da placa, $0 \leq P_i \leq Q_i, i = 1, 2, \dots, m$ (ARENALES *et al.* 2015b).

E admitindo-se que:

- $L, W, l_i, w_i, i = 1, \dots, m$ são inteiros;
- Os cortes são ortogonais a um lado da placa;
- A orientação de peças é fixa, isto é, uma peça de comprimento l_i e largura w_i é distinta de uma peça de comprimento w_i e largura $l_i, l_i \neq w_i$.

Tem-se então:

$$a_{ilwrs} = \begin{cases} 1, \text{ se a peça do tipo } i, \text{ quando cortada com vértice inferior à esquerda} \\ \text{com coordenadas } (l, w) \text{ exclui o ponto } (r, s); \\ 0, \text{ caso contrário;} \end{cases}$$

Para impedir a dupla contagem quando duas peças são adjacentes, define-se:

$$a_{ilwrs} = \begin{cases} 1 \text{ se } 0 \leq l \leq r \leq l + l_i - 1 \leq L - 1 \text{ e } 0 \leq w \leq s \leq w + w_i - 1 \leq W - 1 \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$$

Sendo, $X = \{0, 1, 2, \dots, L - 1\}$ o conjunto de comprimentos para as localizações dos vértices inferiores à esquerda das peças e $Y = \{0, 1, 2, \dots, W - 1\}$ o conjunto correspondentes para as larguras, definindo-se as variáveis:

$$x_{ilw} = \begin{cases} 1, \text{ se a peça do tipo } i \text{ é cortada com seu vértice inferior à} \\ \text{esquerda no ponto } (l, w) \\ \text{tal que } 0 \leq l \leq L - l_i \text{ e } 0 \leq w \leq W - w_i; \\ 0, \text{ caso contrário;} \end{cases}$$

Portanto, o problema de corte bidimensional pode ser tratado como:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{l \in X} \sum_{w \in Y} v_i x_{ilw} \quad (24)$$

Sujeito as restrições:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{l \in X} \sum_{w \in Y} a_{ilwrs} x_{ilws} \leq 1, r \in X, s \in Y \quad (25)$$

$$P_i \leq \sum_{l \in X} \sum_{w \in Y} x_{ipq} \leq Q_i, \forall i = 1, \dots, m \quad (26)$$

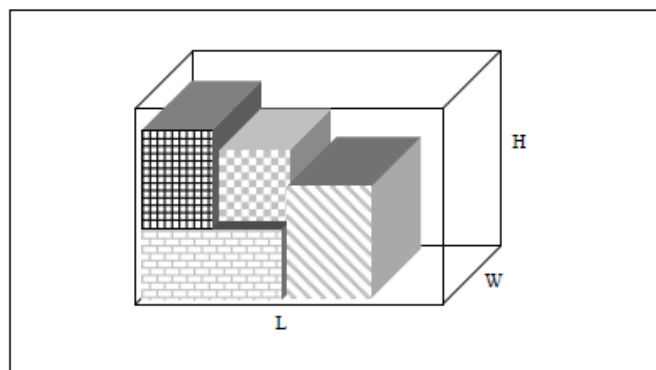
Neste modelo, a função objetivo aborda a maximização da utilidade total das peças cortadas (24). As restrições (25) fornecem a ideia de que qualquer ponto (r, s) é excluído no máximo por uma peça e as restrições (26) forçam que o número de itens de cada tipo i esteja situado na faixa requerida.

O problema de carregamento de paletes e contêineres com caixas iguais pode ser visto como um caso específico deste modelo, em que apenas dois tipos de peças, com tamanhos (l, w) e (w, l) correspondem a duas maneiras de alocar a face inferior das caixas sobre o palete e contêiner (ARENALES *et al.* 2015b). Por último, tem-se os problemas tridimensionais, que serão abordados na próxima sessão.

2.5.4.1.3 Problema Tridimensional

O problema tridimensional é estudado quando se fala de três dimensões do objeto, sendo elas altura, comprimento e largura. Neste caso, o empacotamento de itens em um espaço menor tem aplicação prática, visto que o corte de objetos em menores não pode ser efetuado. Esse tipo de problema tem como objetivo minimizar os espaços ociosos dentro do objeto maior, e podem ser aplicados em contêineres, paletes, corte de blocos de espuma (MOSQUERA, 2007).

Figura 7 - Problema Tridimensional



Fonte: MARQUES (2000)

Existem diversas formulações para os problemas de corte e empacotamento, além de diversas variáveis que podem ser envolvidas no processo para tornar o

problema mais realista e aplicável a determinada situação. Após definido o tipo de objeto que se está carregando, é necessário utilizar o auxílio de modelos matemáticos e heurísticas para que se possa determinar a solução ótima e otimizar como um todo o carregamento, maximizando lucros e minimizando tempo de operação (MOSQUERA, 2007).

No próximo capítulo será apresentado o modelo exato, que pode ser utilizada na resolução do problema de alocação de cargas em contêineres, porém, para este trabalho, servirá como base para a ideia de funcionamento da heurística proposta.

2.5.4.1.4 Problema de dimensões fixas e variáveis

Tratando-se de problemas sob o aspecto geométrico, encontra-se ainda o problema de 1.5 dimensional que são em sua natureza parecidos com os problemas bidimensionais, porém uma de suas duas dimensões consideradas é totalmente variável. Um exemplo é o corte de peças de vestuário. Além disso, têm-se os problemas 2.5 dimensional, cuja principal diferença é que das três dimensões consideradas na modelagem, uma é sempre variável. Para esta classe de problemas, pode-se considerar como exemplo o carregamento de unidade dentro de caixas abertas, onde as bases estão definidas mas a altura é indefinida devido à falta de uma tampa ao recipiente ou caixa. (MARQUES, 2000).

E por último, o problema multidimensional pode aparecer associado ao problema de alocação de tarefas (MORABITO 1992). Este será abordado a seguir.

2.5.4.1.5 Problema Multidimensional

Basicamente, as restrições geométricas sob os planos de corte estão associadas às distâncias entre os itens, limitação quanto à combinação entre os tipos de itens, limitação do número de itens em um plano de corte e limitação no número de tipos de itens em um plano de corte (MARQUES, 2000).

Todos as classes de problemas abordados neste capítulo servem de embasamento para o início do entendimento do problema de alocação de cargas em contêineres.

A seguir, irá se abordar na teoria e na prática da modelagem, como acontece o carregamento de produtos em um contêiner.

2.6 CARREGAMENTO DE CARGAS EM CONTÊINER

O Problema de Cargas em Contêiner é um problema altamente complexo no campo da Pesquisa Operacional e que encontra muitas aplicações práticas, como o clássico problema da mochila. Se o carregamento for feito de forma a maximizar o espaço ocupado pelas caixas, pode-se ter um grande impacto econômico e ecológico, como facilitar a movimentação, a armazenagem, o transporte da carga, reduzir o número de volume a ser manipulado, minimizar o tempo de operação de embarque e desembarque, reduzir os custos e diminuir as avarias e os roubos das mercadorias a serem transportadas (UTIDA, 2012).

Na literatura disponível, existem diversos autores que tratam o problema importando-se em enumerar, por exemplo, os tipos de variantes do problema como são os casos dos artigos escritos por Dyckhoff (DICKHOFF, 1990).

Bortfeldt e Gehring (2001) apresentam uma proposta para o problema de carregamento de contêiner onde o mesmo é caracterizado como um conjunto de pacotes retangulares (caixas) que devem ser arranjados em um ou mais contêineres, de forma a utilizar da melhor maneira o espaço disponível.

Então, entende-se por Problema de Cargas em Contêiner a necessidade de carregar um número conhecido de caixas de tipos distintos e dimensões conhecidas de modo a otimizar o espaço do contêiner (GILMORE; GOMORY, 1961).

Este problema é considerado NP-Completo e NP-difícil (SILVA; SOMA, 2003) e as restrições dimensionais, pesos, centro de gravidade, valores, orientações do posicionamento das caixas e outros, dificultam a obtenção da solução ótima utilizando um método exato, por isso existe a necessidade de utilização de heurísticas na resolução destes problemas.

Ao se modelar o Problema de Cargas em Contêiner, pode-se levar ou não em consideração a estabilidade do carregamento, a resistência ou fragilidade das caixas, limitação de peso da carga, múltiplos destinos da carga. Todas estas considerações dificultam a solução do Problema de Cargas em Contêiner e têm motivado o estudo e o desenvolvimento de diversos métodos heurísticos para resolver este problema (GILMORE; GOMORY, 1961).

Normalmente as empresas de transportes utilizam o sistema em que aluga o contêiner por dia, porém não se consegue evitar as perdas de espaços dentro dos contêineres. Portanto, o Problema de Carregamento de Contêiner consiste então em carregar um número conhecido de caixas de tipos distintos e dimensões conhecidas dentro de contêineres, de modo a utilizar o espaço do contêiner da melhor maneira possível, ou seja, de modo a diminuir os espaços não ocupados. As caixas podem ser homogêneas (somente um tipo de caixa), heterogêneas fraca (poucos tipos de caixas, com muitas caixas de cada tipo) e fortemente heterogêneas (muitos tipos de caixas e poucas caixas de cada tipo) (VENDRAMINI, 2007).

Os ingleses foram os maiores transportadores mundiais utilizando vias marítimas e por isso a terminologia adotada por eles é utilizada até os dias de hoje (VENDRAMINI, 2007).

Os tamanhos dos contêineres obedecem a estes padrões internacionais, onde os de 40 pés (padronizada em: 12,04m de comprimento, 2,32m de largura e 2,38m de altura) são os mais utilizados. Foram desenvolvidos equipamentos específicos para o manuseio de cargas, como guindastes, empilhadeiras e diversos tipos de contêineres para cada carga específica. O mesmo desenvolvimento ocorreu com o transporte de carregamento de contêineres, podendo ser por via terrestre, ferroviário, aéreo e marítimo, possibilitando assim a redução dos custos e permitindo um maior controle do fluxo da carga.

Com isso, sabe-se que um planejamento não eficiente para o carregamento de contêineres pode comprometer o valor final da mercadoria em transporte sendo considerado uma perda de lucratividade pela empresa contratante (VENDRAMINI, 2007).

Por isso, se faz necessário o desenvolvimento de um modelo matemático para alocação de cargas, já que os métodos manuais utilizados para o carregamento de contêiner não apresentam um bom desempenho. Assim, com uma melhor utilização do espaço nos contêineres é possível obter uma redução nos custos e tempo de carregamento e descarregamento das caixas. (VENDRAMINI, 2007).

Neste trabalho apresenta-se uma heurística considerando o problema knapsack já comentado anteriormente. Para resolução do problema, será abordado inicialmente, alguns problemas já tratados na literatura.

Os modelos de resolução do problema de alocação de cargas em contêiner, que forneceram embasamento para a implementação heurística foram encontrados em Morabito e Arenales (1997) e Arenales, Santos e Leão (2009).

2.7 MODELOS DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE CARGAS EM CONTÊINER

Os dois métodos que serão abordados a seguir, foram selecionados devido a sua proximidade com o problema foco deste trabalho. Para o modelo proposto por Arenales, Santos e Leão em 2009, denominado método da mochila compartimentada, são considerados valores de utilidade e custo para os itens inseridos no contêiner. Já para o modelo proposto por Morabito em 1997, chamado por ele de problema de carregamento de contêiner, foram consideradas ainda restrições de empilhamento de itens.

2.7.1 O Modelo do Problema de Carregamento de Contêineres

Para Morabito e Arenales (1997) o problema de carregamento de contêiner se resume a inserir itens de tamanhos diferentes dentro de contêineres com o objetivo de maximizar o volume carregado. Ele afirma que além das restrições dimensionais dos itens, devem ser consideradas as restrições de que duas caixas não podem ocupar o mesmo espaço.

Para o autor, o problema de carregamento de contêiner se resume a responder duas importantes questões:

1. Como pode-se carregar todas as caixas dentro dos contêineres de tal forma que o volume total utilizado seja máximo?
2. Como carregar o máximo volume de caixas dentro do contêiner disponível?

Estas perguntas surgem dentro das empresas quando se procura carregar a maior quantidade de itens possível em um mesmo carregamento. O modelo proposto por Morabito e Arenales (1997) pode ser formulado como:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L v_i a_{ijkl} \quad (27)$$

Sujeito as restrições:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L g_{ijklpqr} a_{ijkl} \leq 1, p = 1, \dots, |X|, q = 1, \dots, |Y|, r = 1, \dots, |Z| \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L a_{ijkl} \leq b_i \quad i = 1, \dots, m \quad (29)$$

$$a_{ijkl} \in \{0,1\}, i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K, l = 1, \dots, L \quad (30)$$

O modelo descrito possui diversas variáveis e restrições. Neste caso, se uma orientação não for determinada para carregar as caixas dentro do contêiner, o modelo apresentado pode ser utilizado, porém com um acréscimo de variáveis e restrições. O modelo não apresenta garantia de carregamento estável (MORABITO, 2006).

2.7.2 O Modelo da Mochila Compartimentada

O Problema da Mochila Compartimentada é considerado uma variação do problema da mochila e é encontrado quando consideramos a situação da existência de uma mochila que deve ser alocada com itens, estes itens possuem valores de peso e utilidade (MARQUES, ARENALES, 2002).

Segundo Leão, Santos e Arenales (2009) para a definição do problema da mochila compartimentada devemos considerar a existência de n itens que devem ser alocados a uma mochila qualquer, além disso, cada item possui um peso, um valor de utilidade e um limitante superior para os casos que não consideramos o modelo irrestrito. Os itens em estudo, são fragmentados em classes e o espaço da mochila passa a ser organizado em compartimentos de forma que apenas itens de uma mesma classe podem ser alocados no mesmo compartimento.

O problema da mochila consiste então em definir os compartimentos e carregá-los com itens de mesma classe, visando a maximização do valor de utilidade subtraídos os custos de compartimentos. Além disso, podemos tratar estes problemas como problema de corte em duas fases, em que os objetos em estoque serão cortados em itens menores. (LEÃO, SANTOS E ARENALES, 2009). Em Marques e Arenales (2007) o problema da Mochila compartimentada é formulado como um problema de otimização não linear inteiro.

A modelagem do problema da mochila compartimentada de Marques e Arenales (2007) baseia-se na proposta, onde cada compartimento da mochila tem associado uma única classe de itens k pode ser apresentada como:

Onde:

- $M = \{1, \dots, m\}$: conjunto dos tipos de itens;
- K : número total de classes distintas;
- C_k : subconjunto de M , contendo itens de mesma classe, $k = 1, \dots, K$, ($C_i \cap C_j \neq \emptyset$ com $i \neq j$);
- N_k : número total de possíveis compartimentos para a classe k ;
- C_k : custo de incluir um compartimento com a classe k na mochila ($C_k \geq 0$), $k = 1, \dots, K$;
- S : perda decorrente da inclusão de um novo compartimento na mochila;
- L : capacidade da mochila;
- L_{\min} : capacidade mínima de cada compartimento;
- L_{\max} : capacidade máxima de cada compartimento ($L_{\min} < L_{\max} < L$);
- l_i : peso do item i , $i = 1, \dots, m$;
- v_i : valor de utilidade do item i (≥ 0), $i = 1, \dots, m$;
- d_i : limite máximo de itens i na mochila, $i = 1, \dots, m$;
- α_{ijk} : número de itens do tipo i , da classe k , no compartimento do tipo j , $i = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, K$ e $j = 1, \dots, N_k$;
- β_{ijk} : número de repetições do compartimento do tipo j alocados com a classe k , $k = 1, \dots, K$ e $j = 1, \dots, N_k$;

Portanto, o j -ésimo compartimento com itens da classe k , tem:

- A capacidade ocupada por:

$$L_{jk} = \sum_{i \in C_k} l_i \alpha_{ijk}, \quad k = 1, \dots, K \text{ e } j = 1, \dots, N_k$$

- O valor de utilidade é dado por:

$$V_{jk} = \sum_{i \in C_k} v_i \alpha_{ijk}, \quad k = 1, \dots, K \text{ e } j = 1, \dots, N_k$$

Um modelo matemático para preencher apenas uma mochila compartimentada pode ser escrito por:

$$\text{Maximizar } \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{N_k} (V_{jk} - C_k) \beta_{jk} \quad (31)$$

Sujeito a:

$$V_{jk} = \sum_{i \in C_k} v_i \alpha_{ijk}, \quad k = 1, \dots, K \text{ e } j = 1, \dots, N_k \quad (32)$$

$$L_{jk} = \sum_{i \in C_k} l_i \alpha_{ijk}, \quad k = 1, \dots, K \text{ e } j = 1, \dots, N_k \quad (33)$$

$$L_{\min} \leq L_{jk} \leq L_{\max}, \quad k = 1, \dots, (K-1) \text{ e } j = 1, \dots, N_k \quad (34)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{N_k} \alpha_{ijk} \beta_{jk} \leq d_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (35)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{N_k} (L_{jk} + S) \beta_{jk} \leq L \quad (36)$$

$$\alpha_{ijk} \geq 0, \text{ inteiro e} \quad (37)$$

$$\beta_{jk} \geq 0, \text{ inteiro, para } i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, K \text{ e } j = 1, \dots, N_k. \quad (38)$$

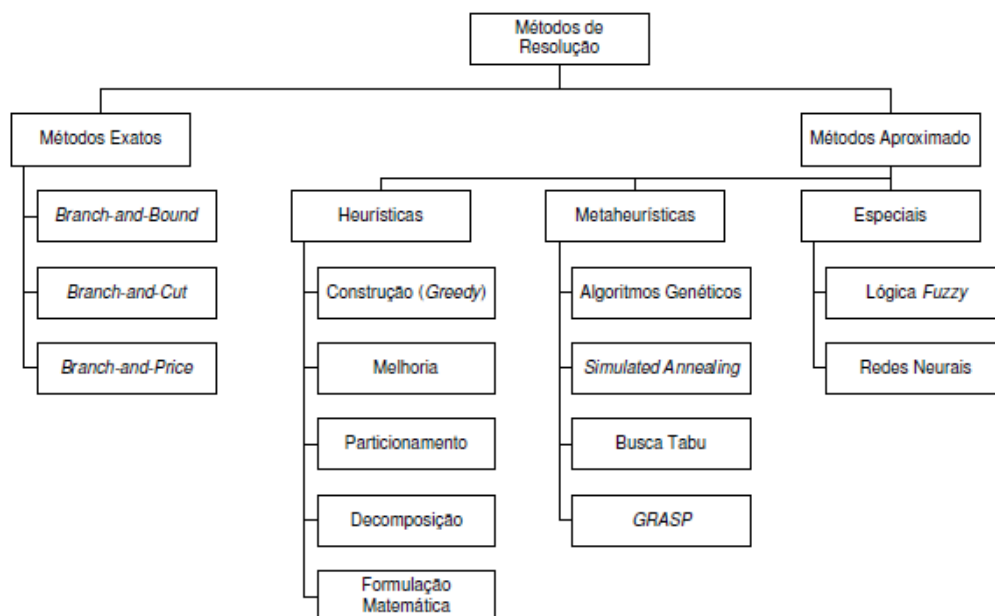
A restrição (32) é associada aos limites físicos dos compartimentos, a restrição (33) é responsável por limitar o número de itens na mochila e por fim, a restrição 34 corresponde aos limites físicos da mochila.

Esses dois modelos apresentados mostram algumas das inúmeras formas de se modelar um problema de alocação de cargas em contêineres ou caixas. Ainda assim, todos estes modelos se tratam de modelos matemáticos formulados de forma linear ou não linear e necessitam de um método de resolução para obter a solução final. Para isso, na próxima seção serão abordados alguns métodos já conhecidos para a resolução do problema de cargas em contêiner citando o método heurístico, tema foco deste trabalho.

2.8 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO

Atualmente, diversas são as técnicas disponíveis para a resolução de problemas de programação linear e programação não linear. Para a resolução de problemas exatos, o que tem sido abordado em grande parte das pesquisas é o Método Simplex. Ele é utilizado em maior escala para problemas de programação linear sendo o método do branch-and-bound para problemas de programação linear inteira.

Figura 8 - Métodos de resolução de problemas



Fonte: (VENDRAMINI, 2004)

Na Figura 8 é possível identificar uma classificação entre os métodos para resolução dos problemas citados, e na próxima seção comenta-se sobre os temas.

2.8.1 Métodos Exatos

A seguir serão descritos os métodos mais utilizados para resolução de problemas de programação linear e programação não linear.

2.8.1.1 Método Simplex

Usado em larga escala para resolução de problemas de grande porte, o método simplex foi potencializado em 1947 por George Dantzig e provou ser um método imensamente eficiente (HILLIER, 2013).

É difícil pensar na solução de problemas de programação linear sem a utilização de computadores (COLIN, 2013).

O objetivo central dos modelos de programação linear é otimizar uma função objetivo que engloba um sistema real e um conjunto de equações e inequações.

Para um determinado problema, o algoritmo simplex parte em busca de uma solução viável qualquer, de modo que o valor da função objetivo pode ser maximizado ou minimizado. Em resumo, o algoritmo pode ser fragmentado em três partes: início do algoritmo, iterações e regra de parada (COLIN 2013).

2.8.1.2 Branch-and-Bound (B&B)

O algoritmo de *branch-and-bound* consiste em dividir conjuntos de soluções viáveis em subconjuntos que não tenham intercessões entre si, sendo calculado os valores de limites superiores e inferiores para cada um dos subconjuntos de forma a eliminar certos subconjuntos de acordo com algumas regras estabelecidas (LACHTERMACHER, 2009).

O autor ainda acrescenta, que este método é o procedimento mais utilizado para a resolução de problemas do tipo programação linear inteira, que é enfoque principal deste trabalho.

O algoritmo é iniciado com uma solução ótima do problema, sendo que as restrições de variáveis inteiras são desconsideradas. A cada iteração do modelo, o problema é subdividido e eliminada as partes inteiras do problema subdividido fazendo alguns testes lógicos (COLIN, 2013).

2.8.2 Método Heurístico

Segundo Arenales et al. (2015), o surgimento dos métodos heurísticos para os problemas de otimização combinatória emergiram no final da década de 1950 como uma grande alternativa aos problemas de otimização complexos, já que os algoritmos exatos têm complexidade de tempo exponencial.

O termo Heurística é derivado do grego *heuriskein*, que tem como significado achar ou descobrir algo (GOLDBARG e LUNA 2005).

Ainda para os autores:

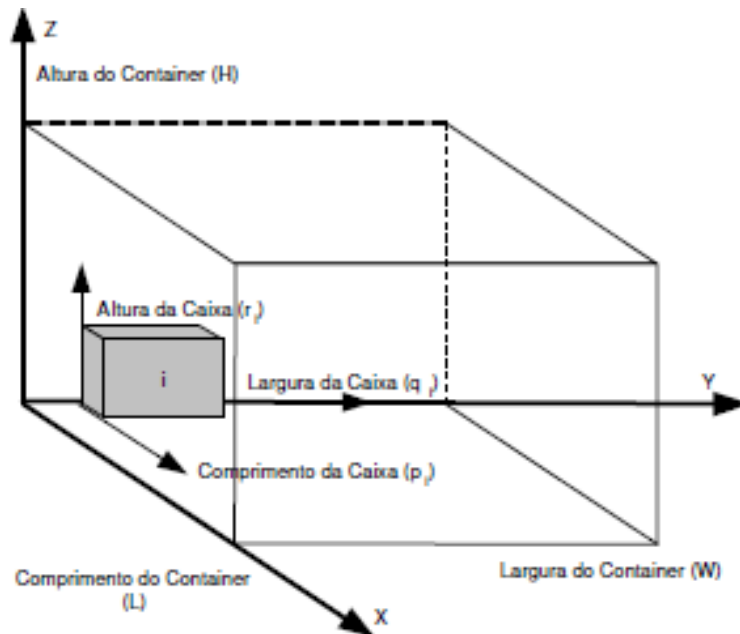
Uma heurística é uma técnica que busca alcançar uma boa solução utilizando um esforço computacional considerado razoável, sendo capaz de garantir a viabilidade ou a otimalidade da solução encontrada ou, ainda, em muitos casos, ambas, especialmente nas ocasiões em que essa busca a partir de uma solução viável próxima ao ótimo (GOLDBARG e LUNA 2005).

Para Hillier (2013) o método heurístico é uma técnica que em grande parte dos casos, encontrará uma boa solução viável, não sendo necessariamente uma solução ótima para o problema em estudo. Na verdade, quando se tratam de heurísticas, nada se pode afirmar sobre a qualidade da solução encontrada, mas, por outro lado, uma heurística bem refinada pode encontrar uma solução muito próxima da ótima.

Devido à complexidade de resolução dos modelos matemáticos exatos já apresentados, as heurísticas tem se tornado uma excelente ferramenta para modelos mais complexos e que requerem certas manipulações antes de se encontrar a solução desejada. A heurística proposta neste trabalho foi incentivada pelo algoritmo proposto por Vendramini (2007), que utilizou um algoritmo genético para modelar o problema de carregamento de contêiner de forma sistemática. O modelo proposto pela autora exibiu algumas restrições extras que não serão adotadas para este estudo.

A heurística proposta por Vendramini (2007) é baseada no que já havia sido proposto por Chen, Lee e Shen (1995) que consideram apenas um contêiner disponível para o carregamento e as caixas podem rotacionar em torno do eixo x e y. A Figura 9 mostra como o modelo considera a inserção das caixas e a disposição com os eixos do contêiner.

Figura 9 - Ilustração inserção de caixas no contêiner



Fonte: VENDRAMINI (2007)

O modelo matemático proposto por Chen, Lee e Shen e utilizado por Vendramini (2007) considera:

Variáveis:

- N - número de caixas disponíveis para carregamento;
- s_i - variável binária que indica se a caixa foi posicionada no contêiner. Quando isso ocorre, $s_i = 1$, caso contrário, $s_i = 0$;
- (L, W, H) - triplo que indica comprimento, largura e altura do contêiner, respectivamente;
- (p_i, q_i, r_i) - triplo que indica comprimento, largura e altura da caixa, respectivamente;
- (x_i, y_i, z_i) - triplo que indica a localização da caixa pelo canto inferior esquerdo traseiro;
- (l_{xi}, l_{yi}, l_{zi}) - triplo binário que indica para qual eixo o comprimento da caixa está em paralelo. Como a altura da caixa sempre está em paralelo com a altura do contêiner, podemos trabalhar com o triplo $(l_{xi}, l_{yi}; 0)$;

- (w_{xi}, w_{yi}, w_{zi}) - variável binária que indica para qual eixo a largura da caixa está em paralelo. Como a altura da caixa sempre está em paralelo com a altura do contêiner, essa variável pode ser modificada para $(w_{xi}, w_{yi}, 0)$;
- (h_{xi}, h_{yi}, h_{zi}) - triplo binário que indica para qual eixo a altura da caixa está em paralelo.
- Como a altura da caixa sempre estará em paralelo com a altura do contêiner, esse triplo será $x_0: (0, 0, 1)$;

Ainda existem outras variáveis que são usadas para indicar o posicionamento das caixas em relação a outras caixas:

- a_{ik} - caso seja 1, indica que a caixa i está à esquerda da caixa k;
- b_{ik} - caso seja 1, indica que a caixa i está à direita da caixa k;
- c_{ik} - caso seja 1, indica que a caixa i está atrás da caixa k;
- d_{ik} - caso seja 1, indica que a caixa i está à frente da caixa k;
- e_{ik} - caso seja 1, indica que a caixa i está abaixo da caixa k;
- f_{ik} - caso seja 1, indica que a caixa i está acima da caixa k.

Como já mencionado, o triplo $(h_{xi}, h_{yi}, h_{zi}) = (0, 0, 1)$, implica que $h_{xi} = h_{yi} = 0$, portanto, a formulação pode ser obtida conforme descrita a seguir:

$$\text{Minimizar } Z = L \cdot W \cdot H - \sum_{i=1}^N p_i q_i r_i s_i$$

Sujeito a:

(Evitar sobreposição de caixas no contêiner)

$$x_i + p_i \cdot l_{xi} + q_i \cdot w_{xi} + r_i \cdot h_{zi} \leq x_k + (1 - c_{ik}) \cdot M, \forall i, k; i < k \quad (39)$$

$$x_k + p_i \cdot l_{xk} + q_i \cdot w_{xk} r_k \cdot h_{zk} \leq x_i + (1 - d_{ik}) \cdot M, \forall i, k; i < k \quad (40)$$

$$y_i + p_i \cdot l_{yi} + q_i \cdot w_{yi} + r_i \cdot h_{zi} \leq y_k + (1 - a_{ik}) \cdot M, \forall i, k; i < k \quad (41)$$

$$y_k + p_i \cdot l_{yk} + q_i \cdot w_{yk} r_k \cdot h_{zk} \leq y_i + (1 - b_{ik}) \cdot M, \forall i, k; i < k \quad (42)$$

$$z_i + p_i \cdot l_{zi} + q_i \cdot w_{zi} + r_i \cdot h_{zi} \leq z_k + (1 - e_{ik}) \cdot M, \forall i, k; i < k \quad (43)$$

$$z_k + p_i \cdot l_{zk} + q_i \cdot w_{zk} + r_k \cdot h_{zk} \leq z_i + (1 - f_{ik}) \cdot M, \forall i, k; i < k \quad (44)$$

Garantir que o par de caixas avaliados nas equações (39) a (44) estejam no contêiner:

$$a_{ik} + b_{ik} + c_{ik} + d_{ik} + e_{ik} + f_{ik} \cdot s_i + s_k \leq 1, \forall i, k; i < k \quad (45)$$

Garantir que o posicionamento das caixas obedeça as limitações físicas dimensionais do contêiner:

$$x_i + p_i \cdot l_{xi} + q_i \cdot w_{xi} \leq L + (1 - s_i) \cdot M, \forall i \quad (46)$$

$$y_i + p_i \cdot l_{yi} + q_i \cdot w_{yi} \leq W + (1 - s_i) \cdot M, \forall i \quad (47)$$

$$z_i + p_i \cdot l_{zi} + q_i \cdot w_{zi} + r_i \cdot h_{zi} \leq H + (1 - s_i) \cdot M, \forall i \quad (48)$$

Onde M é um número inteiro arbitrário grande.

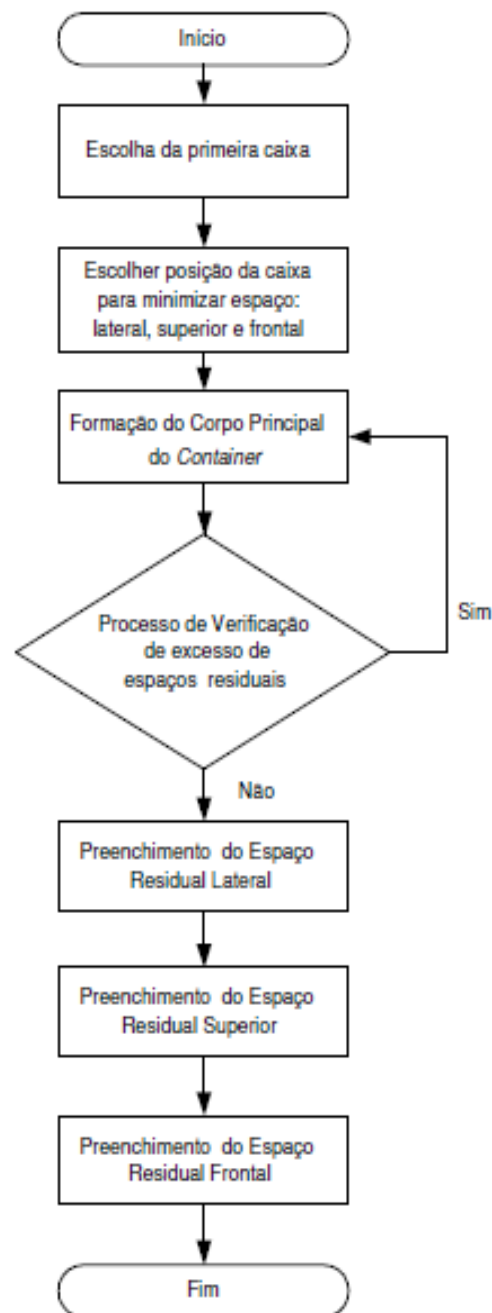
Este modelo supõe que todas as dimensões do contêiner e das caixas são conhecidas além das quantidades de caixas disponíveis para o carregamento. Todas as caixas podem passar por processo de rotação de 90° de tal maneira que a largura e o comprimento da caixa não sejam posicionados obrigatoriamente em paralelo com a largura e ao comprimento do contêiner, contudo, a altura da caixa é a única dimensão que poderá ser sempre colocada paralela ao eixo da altura do contêiner (VENDRAMINI 2007).

Após entendido o modelo matemático estudado por Vendramini (2007), a autora propõe um método de solução aproximado para o problema de carregamento de contêineres, o qual será denominado método heurístico proposto.. Segundo Vendramini (2007) a técnica de otimização heurística é necessária em carregamentos de contêineres devido a sua complexidade.

Assim, Vendramini (2007) propõe uma heurística que se baseia na divisão do contêiner em uma malha, sendo cada uma das partes uma subdivisão das medidas do contêiner. As partições são denominadas em frontal, inferior, superior e lateral, e o algoritmo foi replicado em cada uma das subpartes, a fim de otimizar a quantidade de caixas e espaços vazios e formar o que a autora chama de corpo principal do contêiner, além de automaticamente minimizar o espaço total.

Na Figura 10 verifica-se um esquema sobre o fluxo do algoritmo proposto pela autora. Os procedimentos de melhoria utilizadas por Vendramini (2007) em seu trabalho, não serão abordadas.

Figura 10 - Fluxograma do Algoritmo Heurístico Proposto por Vendramini



Fonte: Vendramini (2007)

A necessidade da aplicação de uma heurística para o estudo proposto por Vendramini é devido a ineficiência dos modelos matemáticos exatos quando se tratam de problemas de grande porte, ou seja, com uma quantidade grande de caixas.

Chen, Lee e Shen em (CHEN; LEE; SHEN, 1955) complementam ainda, que toda a formulação matemática proposta que leve a uma solução ótima para o

carregamento do contêiner, não é eficiente quando aumenta-se a quantidade de caixas, visto que o número de variáveis e restrições cresce muito.

Por este motivo, Rodrigues (2005) afirma que as técnicas de otimização heurística apresentam-se como procedimentos mais eficientes e simples, possíveis de serem aplicados em problemas maiores e mais complexos, como o de carregamento de contêiner.

O Algoritmo heurístico proposto por Vendramini (2007) admite dimensões fracionadas, sendo que os espaços vazios tem dimensões variáveis. Para este trabalho, não será considerado os valores fracionados da carga, conforme será descrito no capítulo 4.

Através do algoritmo heurístico proposto por Vendramini (2007) pode-se esquematizar a heurística de trabalho deste estudo, visando-se alguns conceitos já comentados pela autora, como a inserção das caixas, a divisão do contêiner em malha, além dos testes de dimensões das caixas compatíveis com as do contêiner.

3. ESTUDO DE CASO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta a otimização de um layout de carregamento de contêiner utilizando o software 2D LOAD PACKER e um novo método heurístico eficiente. O problema proposto a alocação de cargas em contêiner em uma empresa multinacional de grande porte na região sul do Brasil. A escolha da empresa se deu devido ao acompanhamento das operações durante a realização do período de estágio, as quais proporcionaram fatores motivacionais para abordar este tema.

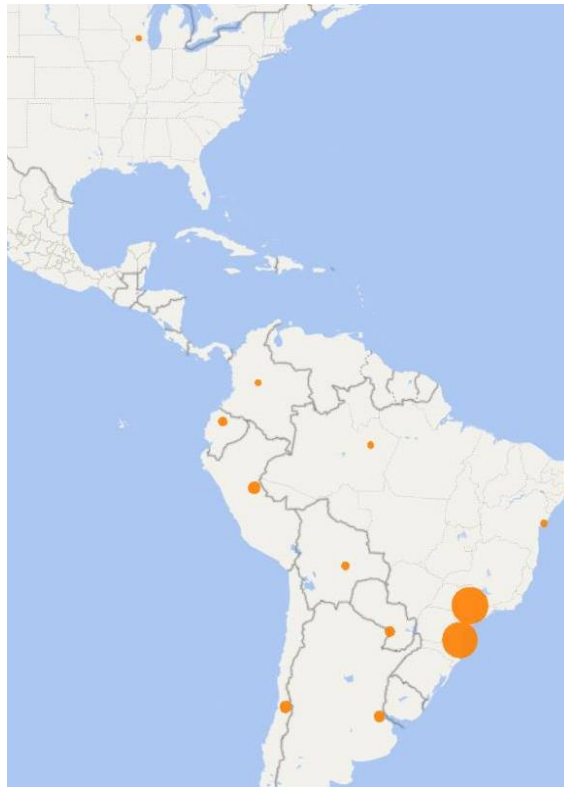
A empresa decidiu reorganizar suas linhas para que as produções estivessem mais próximas dos seus clientes, assim, melhorando a entrega e o atendimento aos mesmos. Para isso, estrategicamente, diversas filiais da empresa passaram a ter seus layouts produtivos estudados, e em alguns casos percebeu-se a necessidade de alteração, enviando algumas linhas produtivas nacionais para unidades internacionais e vice versa.

3.1 CARREGAMENTO UTILIZADO PELA EMPRESA

Devido as mudanças do cenário econômico brasileiro, para se adequar as exigências do mercado, a empresa teve que repensar suas combinações de linhas produtivas com base na distribuição dos produtos fabricados por estas linhas combinados à demanda dos clientes em cada região.

A empresa em estudo tem a sua matriz de produção localiza na região sul do Brasil, mas possui diversas filiais ao longo do Brasil e da América Latina e América do Norte. Para visualização das unidades fabris, mostra-se na Figura 12 os pontos de localização das fábricas.

Figura 11 - Unidades fabris e linhas produtivas



Fonte: Autora (2016)

Na Figura 11, nota-se nos círculos em laranja, uma representação da diferença na quantidade de linhas produtivas em cada uma das plantas da empresa, o número de linhas produtivas é sigiloso, porém os círculos informam quais são as plantas que possuem mais linhas produtivas. Após esta apresentação, e ao fim do planejamento estratégico para alterações de layout fabris, iniciaram-se as movimentações com as linhas, passando por setores de manutenção, qualidade e posteriormente o transporte das linhas escolhidas.

Ao todo, escolheu-se para serem transferidas entre as unidades da empresa, 11 linhas produtivas. Direcionou-se as linhas para seus novos destinos, e transportou-se todas em contêineres de 40 pés do tipo DRY, cuja abertura para o carregamento é feita na parte inferior do contêiner.

Para facilitar o carregamento, sugeriu-se que os equipamentos/máquinas fossem fragmentados em diversas partes menores, para que a paletização e a fixação no contêiner com os materiais apropriados de embalagem fossem mais eficazes.

Além disso, durante a operação, observou-se dificuldades de carregamento devido a grandes dimensões dos materiais carregados e seu considerável peso para

o transporte. Os especialistas da empresa utilizam o método manual para obter um layout para as cargas que deveriam ser carregadas. Porém, os métodos manuais excessivos não garantem necessariamente o layout ótimo ou otimizado.

O método manual consiste-se em verificar in loco as dimensões dos equipamentos e seus respectivos pesos, coletar as informações, e através de tentativa e erro ir inserindo em um desenho 3D com as dimensões do contêiner alugado para aquele carregamento. Além de ser um método que não garante uma solução ótima e talvez nem mesmo próximo da ótima, é um método exaustivo e que proporciona alto dispêndio de horas de trabalho dos especialistas da área.

Devido ao pedido de sigilo de informações e por tratar-se de carregamentos que englobam projetos estratégicos para a empresa, a identidade da empresa será preservada, e para isto, será admitido para este trabalho, um nome fantasia de “Empresa L”.

Neste estudo englobam-se dois tipos diferentes de linhas produtivas da empresa, que abrangem os dois principais processos produtivos que acontecem internamente, cada uma com sua peculiaridade e dimensão. Estas linhas escolhidas para a transferência foram segregadas em itens menores, como já mencionado. Um esquema de corte das partes que foram consideradas está esquematizado e serve de compreensão para as próximas etapas deste trabalho. A Figura 12 descreve o que seriam as linhas produtivas compostas por diversos equipamentos menores com funções diferentes e que serão futuramente particionados.

Figura 12- Linha produtiva particionada



Fonte: Autora (2016)

A Figura 12, destaca as partições dos equipamentos que compõem as linhas produtivas em questão. A quantidade de equipamentos que compõe cada uma das linhas se difere dependendo do processo produtivo e necessidade operacional.

Ainda considerou-se que estão disponíveis para o carregamento dos itens, 10 contêineres e também será levado em conta que todas as cargas já estão preparadas

para o carregamento, ou seja, embaladas e paletizadas para a movimentação para que não se corram riscos de avaria da carga, conforme já descrito no início deste trabalho.

3.1.1 Custos envolvidos no cenário atual da empresa

Atualmente a empresa conta com uma equipe de especialistas responsáveis pelos carregamentos das linhas que estão sendo transferidas entre as unidades. Estes especialistas tem a função de definir o melhor layout de carregamento de forma a otimizar o número de contêineres alugados para envio do material. O que acontece é que como a forma de tomada de decisão para o carregamento é manual, a maioria dos carregamentos ocupa muito menos da capacidade de armazenamento do contêiner, sendo necessário um número maior de contêineres para satisfazer o mesmo carregamento.

O carregamento considerado para este trabalho, aconteceu durante o ano de 2016 e teve a participação de uma equipe multidisciplinar cujas responsabilidades eram as mais variadas, desde a desativação da linha na Unidade Brasil, até mesmo a manutenção, embalagem e colocação no contêiner.

Neste carregamento, 11 linhas completas foram destinadas a 4 filiais internacionais e devido à dificuldade de otimização da carga, para este carregamento utilizou-se um total de 10 contêineres para carregar todos os compartimentos das 11 linhas. Ao entrar em contato com os responsáveis pelo trâmite de exportação, que envolve toda a parte de documentação e aluguel dos contêineres foi informado que para a utilização dos contêineres de 40 pés com envio a unidades internacionais variava entre 3.000 dólares a 3.800 dólares, dependendo do país de destino.

Considerando que deste carregamento de 11 linhas, a média de valor do aluguel dos contêineres foi de 3.400 dólares, e utilizando uma cotação cambial para o dólar hoje de aproximadamente R\$3,67 temos o valor em reais de R\$ 12.478,00 por contêiner. Sendo que a capacidade máxima da infraestrutura da empresa suporta 10 contêineres, o valor de R\$ 12.478,00 multiplicado por 10, resulta em um valor de R\$ 124.780,00 gasto neste carregamento.

Além deste custo de transporte, a empresa utilizava materiais para embalagem que não eram tão eficientes para o carregamento e por ser tradição sempre utilizar os mesmos, em nenhum momento foram levantados novos fornecedores e tecnologias de embalagem para este tipo de operação.

Basicamente os especialistas compravam uma caixa fechada e inseriam no fundo do contêiner, sem nenhuma proteção para a carga. Além disto, os materiais utilizados no carregamento custavam em torno de R\$ 1.800,00 por contêiner, sendo que não se tinha garantia da segurança da carga. O custo total para este carregamento gasto em material de embalagem foi de R\$ 1.800,00 vezes os 10 contêineres utilizados, resulta em R\$18.000,00.

Na próxima seção serão discutidas as informações do processo de embalagem e fixação das cargas no palete e posteriormente no contêiner além de dados para o método heurístico proposto. Também serão abordados alguns conceitos e premissas estabelecidos para a execução do modelo.

3.2 CARREGAMENTO UTILIZANDO A METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta para resolução do problema do carregamento das linhas produtivas da empresa L podem ser subdivididas em dois métodos: proposta heurística e utilização de um software para comparação. Além disso, os materiais de embalagem utilizados nos carregamentos atuais da empresa L, eram basicamente caixas de madeira tipo exportação, sendo que a carga permanece solta durante todo o tempo de viagem da carga.

Os métodos abordados a seguir propõem uma melhoria no layout de carregamento utilizado atualmente e ainda, substituir os materiais de embalagem utilizados por paletes e cintas de segurança para a carga com o objetivo aumentar a eficiência do carregamento e segurança da carga.

Antes da apresentação do método heurístico proposto e da aplicação do software 2D Load Packer, alguns pontos terão de ser esclarecidos para melhor entendimento do estudo de caso. Devido ao sigilo dos dados, as dimensões apresentadas para cada compartimento dos equipamentos transportados se aproximam da realidade, porém, não são as dimensões reais dos equipamentos.

Para facilitar a compreensão, iremos adotar a nomenclatura como mostra-se na Tabela 1 para as linhas produtivas, cortes efetuados e marcas dos equipamentos.

Tabela 1 - Nomenclaturas adotadas

Descrição	Nomenclatura escolhida
Linha de Produção tipo I	Linha A
Linha de Produção tipo II	Linha B
Sub compartimentos da linha I	Compartimentos A
Sub compartimentos da linha II	Compartimentos B
Marca dos equipamentos da Linha I	Classe de A
Marca dos equipamentos da Linha II	Classe de B

Fonte: Autora (2016)

3.2.1 Os Itens transportados

As linhas produtivas que foram selecionados para serem utilizados neste trabalho estão passando por uma renovação e mudança de planta dentro da companhia. Para isso, nunca se obteve um estudo detalhado para melhorar a eficiência do carregamento e garantir que uma menor quantidade de contêiner seja utilizada.

As descrições das funcionalidades produtivas de cada linha escolhida também terão identidade sigilosa, e por isso, ao decorrer deste trabalho serão nomeados de Linha A e Linha B, conforme a Tabela 1. Além disso, cada uma das linhas estará atribuído a uma marca (marca dos equipamentos que compõe as linhas produtivas), que durante este trabalho será nomeado de classe de A, para a linha A e classe de B para a linha B. Essas marcas, possuem dimensões diferentes, e para este estudo serão utilizadas dimensões aproximadas.

Para a linha A, coletaram-se dados de 9 classes (marcas) diferentes, variando os modelos e as dimensões de altura, comprimento, largura e peso do material. Para a linha B, a coleta se baseou em apenas 4 classes diferentes. Todas as classes abordadas estão atualmente presentes na empresa L. Um esquema explicativo será apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Classes de A e de B



Fonte: Autora (2016)

Após examinar as possíveis classes para cada uma das linhas em estudo, buscou-se em conversa com os especialistas os melhores padrões de corte para cada linha, considerando as funcionalidades de cada um dos compartimentos menores. Para isto, foram levantadas áreas em comum para todas as classes da linha A e outras áreas comuns para as classes da Linha B.

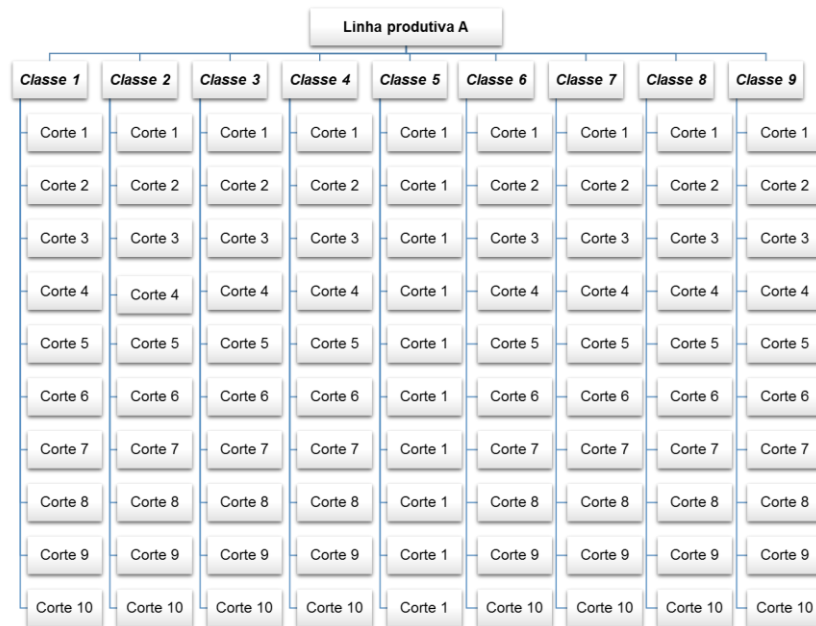
Com esta análise, considerando adequações de operações para cada uma das partições e sem comprometer a funcionalidade de cada linha produtiva (A e B) foram definidas 10 compartimentos de corte para a Linha A e 8 partes para a Linha B. Para estabelecer na prática os compartimentos menores, necessitou-se estabelecer padrões de corte nos equipamentos para que pudessem ser fragmentadas em partes menores.

Os padrões de corte decididos, bem como as partições resultantes desta escolha serão abordadas na próxima seção.

3.2.2 O corte dos equipamentos

Devido as subáreas comuns de ambas as classes para cada uma das Linhas (A e B), foram propostos 9 cortes para a Linha A, resultando em 10 compartimentos menores, e 7 cortes para a Linha B, resultando em 8 compartimentos menores, conforme mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Esquema de cortes para a linha A



Fonte: Autora (2016)

O mesmo esquema demonstrado na Figura 15 para a Linha Produtiva A, será apresentado na Figura 15 para a Linha Produtiva B.

Figura 15 - Esquema de cortes para a linha B



Fonte: Autora (2016)

Nas Figuras 14 e 15 nota-se a quantidade de cortes para cada uma das classes disponíveis em cada uma das linhas em estudo. É importante destacar que cada um dos cortes propostos irá fornecer os compartimentos menores com formatos irregulares, ou seja, tamanhos que variam em altura, largura e comprimento.

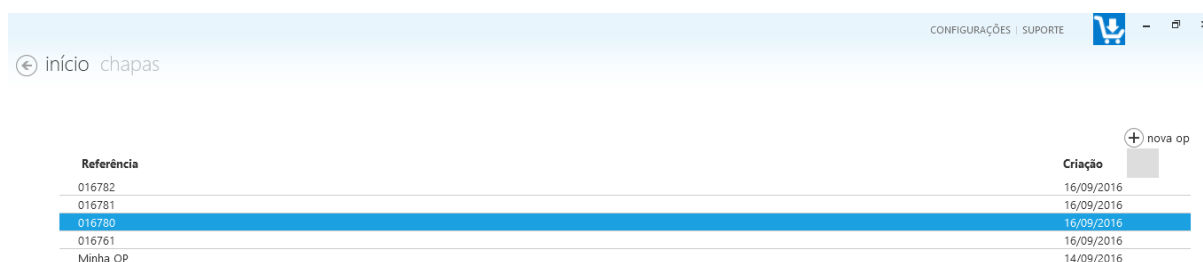
Para o corte proposto, inicialmente considerou-se que as linhas como um todo, possuem formas retangulares irregulares. Vários cortes foram efetuados nas áreas próximas as reais das linhas, sendo eles junções por solda, parafusos ou conexões distintas ou módulo de produção.

Todos os cortes foram efetuados com base no problema de corte bidimensional, onde os cortes são feitos lateralmente e longitudinalmente e geram os compartimentos menores, conforme já mencionado no item 2.5. A seguir será exposto o padrão de corte bidimensional proposto e os compartimentos resultantes.

Com a finalidade de facilitar a visualização dos cortes efetuados, utilizou-se o software disponível na internet chamado Otimize Nesting, que tem por objetivo gerar padrões de corte conforme as informações dadas na entrada, como por exemplo as medidas de onde devem partir os cortes nas linhas. Abaixo descreve-se um passo a passo com as inserções dos dados no software Otimize Nesting.

Para baixar o programa é necessário entrar no site <http://www.otimizenesting.com.br/> e fazer o download do arquivo, após a instalação e iniciação do programa, uma página como a Figura 16 deve aparecer.

Figura 16 - Tela inicial Software Otimize Nesting



Fonte: Autora (2016)

Deve-se clicar em nova OP, localizada no canto superior esquerdo. A partir deste ponto, abrirá uma tela para iniciar os planos de corte da preferência do usuário, conforme a Figura 17.













Figura 17 - Tela de corte do Software Otimize Nesting

Materiais		Lista de Peças				importar acabamentos	
	novo material	#	Referência	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Qtd.	
		1	nova peça				

Fonte: Autora (2016).

Na sequencia, é necessário entrar com as medidas de corte de cada uma das partes, e a quantidade de cortes daquele determinado tamanho, sendo que após a inserção de todos os subcompartimentos, a tela do programa deverá ter uma configuração conforme a Figura 18.









Figura 18 - Planos de corte propostos para a Linha A

Lista de Peças					importar  acabamentos 	
#	Referência	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Qtd.		
1	 Parte 1	950	1800	1		
2	 Parte 2	950	1900	1		
3	 Parte 3	950	1800	1		
4	 Parte 4	950	800	1		
5	 Parte 5	950	900	1		
6	 Parte 6	950	900	1		
7	 Parte 7	950	1700	1		
8	 Parte 8	950	600	1		
9	 Parte 9	950	900	1		
10	 Parte 10	950	700	1		

Fonte: Autora (2016)

Na Figura 18, verifica-se o esquema de corte efetuado na linha A, sendo que o mesmo procedimento foi aplicado para a Linha B e pode ser observado na Figura 19.

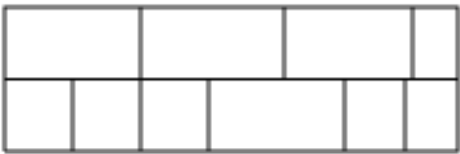
Figura 19 - Planos de corte propostos para a Linha B

Lista de Peças						importar	+	acabamentos	
#	Referência	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Qty.					
1	 Parte 1	1700	600	1					
2	 Parte 2	1700	1800	1					
3	 Parte 3	1700	500	1					
4	 Parte 4	1700	400	1					
5	 Parte 5	1700	1300	1					
6	 Parte 6	1700	600	1					
7	 Parte 7	1700	800	1					
8	 Parte 8	1700	2000	1					

Fonte: Autora (2016)

Os cortes efetuados com o software, e os compartimentos resultantes para cada uma das linhas será mostrado na Figura 20.

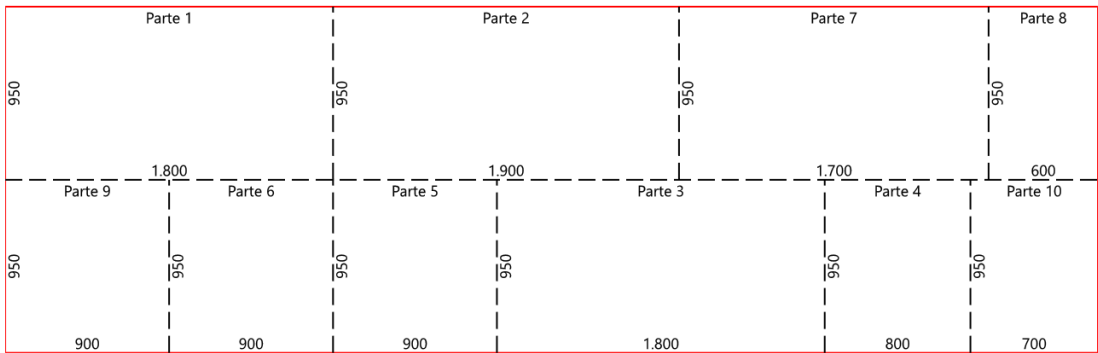
Figura 20 - Linha A particionada



Fonte: Autora (2016)

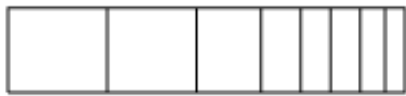
Cada um dos cortes efetuados gerou um compartimento com dimensões menores que futuramente serão paletizadas e embaladas para o carregamento com os contêineres. As medidas de cada uma das partes fragmentadas pode ser verificada nas Figuras 21 e 23.

Figura 21 - Medidas das partições da linha A



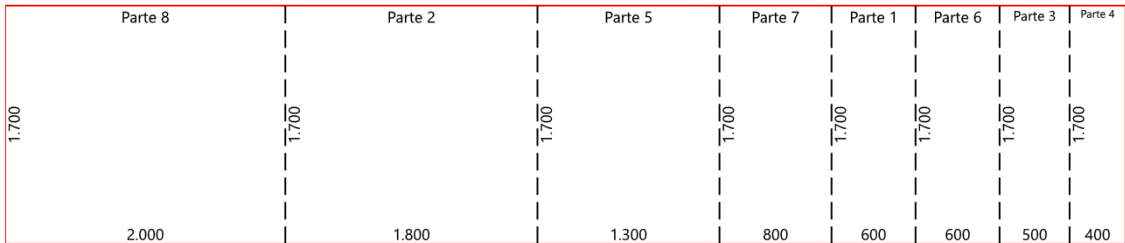
Fonte: Autora (2016)

Figura 22 - Linha B particionada



Fonte: Autora (2016)

Figura 23 - Medidas das partições da linha B



Fonte: Autora (2016)

Observa-se nas Figuras 21 e 23 os padrões dos cortes obtidos e as dimensões resultantes (comprimento e largura) para cada partição menor e as quantidades que serão carregadas de cada uma das linhas.

Para o carregamento dos itens particionados serão utilizados paletes do tipo 4 entradas com dupla face e não reversível para facilitar a operação, conforme descrito na Figura 1. Considerando as dimensões padrão para compra dos paletes como sendo medidas que variam de um em um metro. Os paletes recomendados para inserção dos itens no contêiner podem ser padronizados de 4 formas, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Variação das dimensões dos paletes utilizados

Pallet	Dimensões	
	Comprimento (m)	Largura (m)
	Eixo y	Eixo x
Pallet 1	1,00	2,00
Pallet 2	2,00	2,00
Pallet 3	2,00	1,00
Pallet 4	1,00	1,00

Fonte: Autora (2016)

A seguir listam-se os paletes utilizados para carregar cada um dos compartimentos já apresentados. Como a heurística proposta não considera o empilhamento, o modelo é tratado como 2D, sendo que oficialmente as medidas consideradas são as medidas dos paletes, visto que os mesmos ficarão no chão do contêiner. Para facilitar a identificação durante a execução do algoritmo, denominou-se cada compartimento da linha A como Caixa Ax e para os compartimentos de B, por Caixa Bx, variando os valores de x conforme a quantidade de caixas a serem inseridas.

Tabela 3 - Dimensões das cargas paletizadas

Quantidade a ser carregada	Caixas	Tipo de Pallet	Comprimento (metros)	Largura (metros)	Altura (metros)	Nome
5	Caixa A1	Pallet 4	1,00	1,00	2,00	A1
5	Caixa A2	Pallet 4	1,00	1,00	2,00	A2
5	Caixa A3	Pallet 4	1,00	1,00	2,00	A3
5	Caixa A4	Pallet 3	2,00	1,00	2,00	A4
5	Caixa A5	Pallet 4	1,00	1,00	2,00	A5
5	Caixa A6	Pallet 3	2,00	1,00	2,00	A6
5	Caixa A7	Pallet 3	2,00	1,00	2,00	A7
5	Caixa A8	Pallet 4	1,00	1,00	2,00	A8
5	Caixa A9	Pallet 3	2,00	1,00	2,00	A9
5	Caixa A10	Pallet 3	2,00	1,00	2,00	A0
6	Caixa B1	Pallet 1	1,00	2,00	2,00	B1
6	Caixa B2	Pallet 2	2,00	2,00	2,00	B2
6	Caixa B3	Pallet 1	1,00	2,00	2,00	B3
6	Caixa B4	Pallet 1	1,00	2,00	2,00	B4
6	Caixa B5	Pallet 2	2,00	2,00	2,00	B5
6	Caixa B6	Pallet 1	1,00	2,00	2,00	B6
6	Caixa B7	Pallet 1	1,00	2,00	2,00	B7
6	Caixa B8	Pallet 2	2,00	2,00	2,00	B8

Fonte: Autora (2016)

Com as linhas já particionadas em compartimentos menores e inseridas nos respectivos paletes, a carga paletizada pode ser representada como na Figura 24.

Figura 24 - Ilustração do padrão de fixação das cargas no paletes não permitindo empilhamento



Fonte: Autor desconhecido.

Os procedimentos executados para a preparação da carga, bem como as dimensões e restrições já apresentadas foram utilizadas como dados de entrada para o método heurístico proposto e para o software 2D Load Packer, conforme será descrito a seguir.

3.3 MÉTODO HEURÍSTICO PROPOSTO

Esta seção aborda o detalhamento método heurístico proposto para a solução do problema de carregamento de contêiner, com o objetivo de apresentar uma proposta de melhoria de carregamento em face ao cenário atual da Empresa L.

O algoritmo heurístico desenvolvido possui algumas diretrizes do que foi apresentado por VENDRAMINI (2007) cuja ideia central foi mencionada na sessão 2.8. Para a programação utilizou-se a linguagem C#.

A heurística proposta neste trabalho trabalha de maneira sistemática, assim como são definidas no conceito de heurística. De modo geral a heurística opera através da subdivisão do contêiner em vários compartimentos menores, aproximando-se de uma malha, de duas dimensões (x e y) conforme Figura 25.

Figura 25 - Contêiner com malha 2D

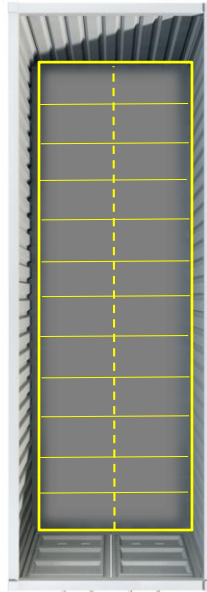
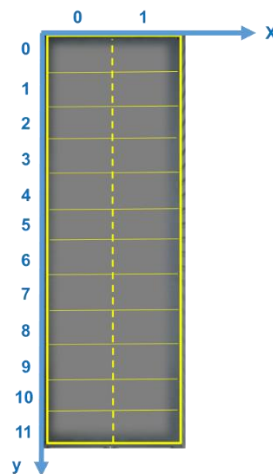


Figura: Autor desconhecido.

A malha apresentada no interior do contêiner foi inserida em cima das dimensões de um contêiner de 40 pés, em que cada um dos espaços acima tem valor de 1mx1m. Além disso foram fornecidas orientações para o algoritmo baseadas nas dimensões da malha do contêiner. Essas orientações são basicamente a nomeação dos valores nos eixos x e y, considerando este carregamento em 2D. Na Figura 26 demonstra-se a variação da malha no fundo do contêiner apresentando o eixo x e y.

Figura 26 - Orientações da malha do contêiner utilizado no método heurístico proposto



Fonte: Adaptado de Autor desconhecido

O algoritmo proposto inicia-se com uma lista de caixas pré definidas e prontas para o carregamento. A quantidade de contêineres disponíveis para a operação é de 10, visto que a área fornecida pela empresa para este tipo de operação comporta no máximo 10 caminhões com contêiner de 40 pés. Para fins de simplificação, na heurística proposta foi utilizado o valor de 12 metros de comprimento e 2 metros de largura para o contêiner escolhido.

O objetivo principal do algoritmo é conseguir alocar todas as caixas de forma a minimizar as sobras e número de contêineres e maximizar a quantidade de caixas carregadas. Para o algoritmo proposto, não é permitido que caixas fiquem de fora do carregamento, pois isto comprometeria a instalação da Linha A ou B.

Os dados das caixas a serem carregados, são os apresentados na Tabela 2. Como os compartimentos são grandes e pesados, o algoritmo considera que além da restrição de empilhamento, ou seja, dimensões 2D, apenas é possível inserir a caixa paralelamente a largura do contêiner ou ao comprimento do contêiner, não sendo permitido inserir a altura paralela a alguma das dimensões citadas. Assim, não é possível movimentar a caixa de forma translacional, apenas rotacional. Para este teste, o algoritmo inicialmente verifica se as caixas fornecidas obedecem as dimensões máximas do contêiner.

Para o método heurístico proposto, não foram consideradas as variáveis de estabilidade da carga ou peso e volume máximo, visto que o objetivo do algoritmo é gerar um padrão de operação na qual se possa ter ideia de quais e quantas caixas serão carregadas em cada um dos contêineres de forma a minimizar a quantidade de contêiner, reduzindo o custo a ser pago atualmente pela empresa L.

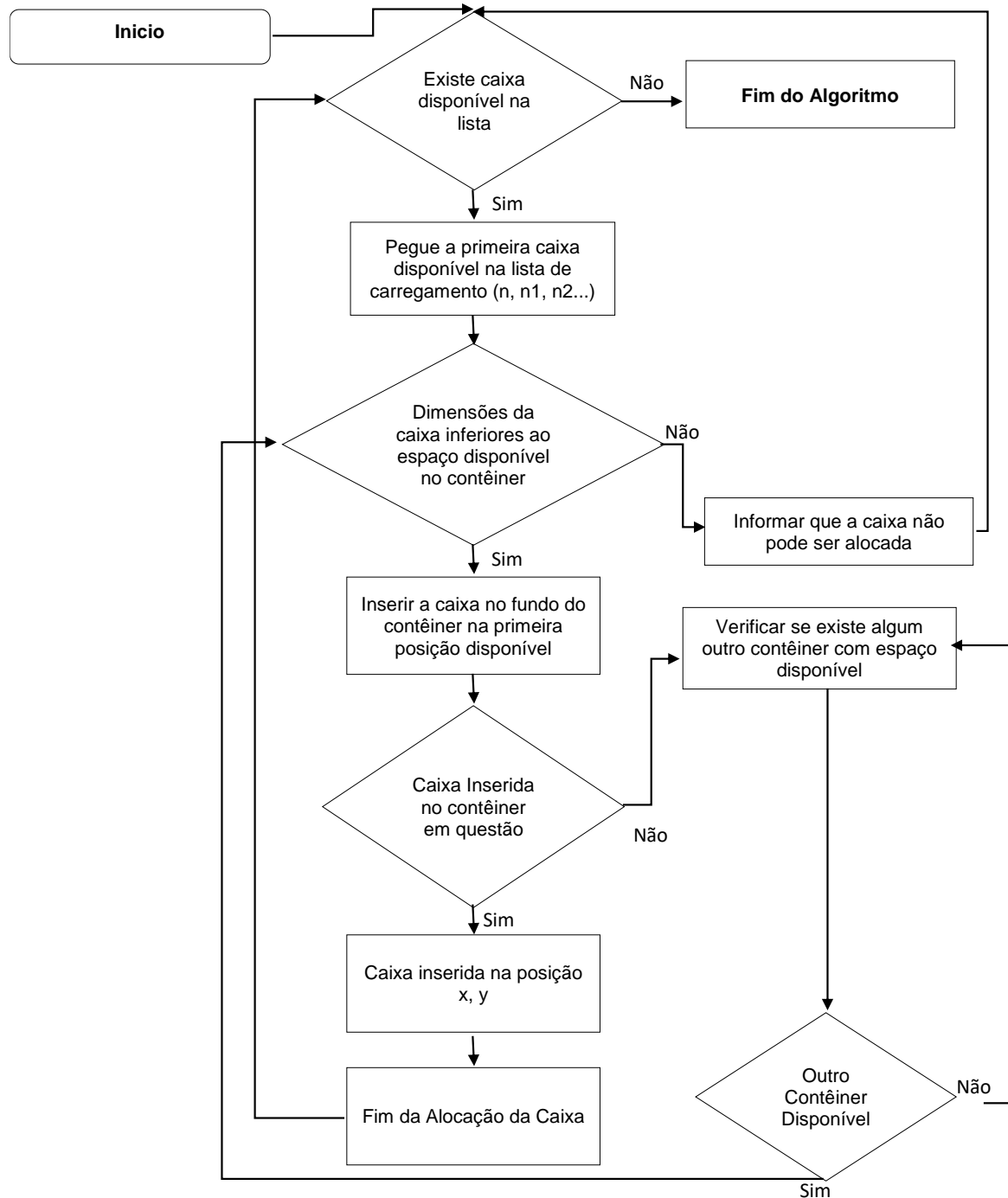
O preenchimento dos espaços ao se inserir as caixas é feito do fundo do contêiner para a porta do contêiner, considerando que todas as primeiras caixas serão alocadas no canto inferior esquerdo, seguindo para o preenchimento até o canto inferior direito. Após preenchida a primeira fila no fundo do contêiner, o algoritmo volta ao canto inferior esquerdo adiciona a medida da caixa que já está presente e inicia novamente a colocação da próxima caixa.

É importante destacar que a ordem de inserção das caixas é respeitada, sendo que o algoritmo vai colocar todas as caixas, e assim que um contêiner estiver preenchido, ele irá executar novamente os passos iniciais para verificar se ainda há algum lugar disponível para a caixa que está na vez, caso não haja, ele irá inserir a

caixa no próximo contêiner. Este procedimento é repetido para todas as caixas disponíveis no carregamento.

Não existem restrições com relação a ordem de carregamento das caixas, ou seja, partições da linha de produção A, podem ser mescladas no carregamento com as da linha B. O que é definido por contrato com a empresa prestadora do serviço de transporte, é que as cargas devem chegar juntas, para que se possa instalar as linhas de forma completa. Para melhor entendimento do passo a passo do algoritmo, a Figura 27 mostra um esquema com as principais atividades propostas pela heurística criada.

Figura 27 - Fluxograma heurística proposta



Fonte: Autora (2016)

Seguindo-se os passos descritos na Figura 27, a heurística criada tem a entrada de dados através de uma planilha com os dados das caixas. Os dados devem ser salvos em um arquivo .csv para o teste, e o procedimento de leitura para inserção das caixas pelo algoritmo e no contêiner será baseado iniciando-se na primeira linha

e indo para as próximas. As informações devem estar padronizadas da seguinte forma:

Figura 28 - Dados para inserção no algoritmo

Quantidade a ser carregada	Caixas	Comprimento (metros)	Largura (metros)	Altura (metros)
-------------------------------	--------	-------------------------	---------------------	--------------------

Fonte: Autora (2016)

Uma das premissas adotadas para o modelo é a de que a quantidade de caixas que são permitidas devem estar padronizadas com valores de números inteiros, bem como os dados de comprimento, largura e altura dos paletes. Conforme as linhas inseridas com os dados, ocorrerá a inserção das caixas paletizadas no contêiner, e assim que um contêiner estiver completo, a caixa será direcionada para o próximo contêiner disponível.

Foi estabelecido dois padrões para a resolução do modelo com a heurística proposta. No primeiro deles adotou-se como prioridade o carregamento da linha A, sendo que não existem restrições para a utilização do contêiner com mesclas de caixas entre A e B. E o segundo adotou-se o cenário inverso, priorizando a entrada das caixas do tipo B e posteriormente do tipo A.

Para facilitar a visualização e complementar todo o estudo já realizado até este momento, optou-se por apresentar a heurística em um padrão visual, a fim de obter uma interface gráfica com o usuário. A iniciativa surgiu a partir do software utilizado neste trabalho 2D Load Packer que será apresentado na próxima seção. Para isso utilizou-se a linguagem C# executando o programa no software Visual Studio.

Na interface gráfica da heurística proposta foram mantidas as entradas no formato .csv. No relatório de saída consideram-se como principais informações as de quantidade de caixas em cada um dos contêineres e quais caixas foram alocadas, e em que posição das mesmas foram alocadas após o término do algoritmo. A interface inicial para inserção dos dados e escolha da pasta de saída pode ser vista na Figura 29.

Figura 29 - Interface gráfica



Fonte: Autora (2016)

Com a inserção destes dados, após alguns segundos de processamento, terá sido criado na pasta de destino selecionada, 2 arquivos, um deles contendo o passo a passo de execução do algoritmo, mostrando cada uma das iterações e as tentativas de inserção dos paletes no contêiner e outro, no formato .csv contendo a numeração do contêiner, a caixa que foi alocada e a posição x e y da caixa. Verifica-se o formato de apresentação dos resultados na Figura 30, utilizando como exemplo o primeiro contêiner (contêiner 0).

Figura 30 - Dados de saída da heurística proposta para o contêiner 0.

Container	Caixa	X	Y
0	Caixa A1-0	0	0
0	Caixa A1-1	0	1
0	Caixa A1-2	1	0
0	Caixa A1-3	1	1
0	Caixa A1-4	2	0
0	Caixa A2-0	2	1
0	Caixa A2-1	3	0
0	Caixa A2-2	3	1
0	Caixa A2-3	4	0
0	Caixa A2-4	4	1
0	Caixa A3-0	5	0
0	Caixa A3-1	5	1
0	Caixa A3-2	6	0
0	Caixa A3-3	6	1
0	Caixa A3-4	7	0
0	Caixa A4-0	8	0
0	Caixa A4-0	8	1

Fonte: Autora (2016)

Após a obtenção dos dados de saída, é possível inserir o comando filtros no Excel para filtrar por contêiner quais foram as caixas alocadas em cada um deles. Além desta facilidade, é possível notar o resultado obtido após a execução do algoritmo na tela visual que aparece após o termino do algoritmo. Nela, é possível notar as caixas que foram carregadas e o layout gerado para o carregamento final em cada contêiner. A Figura 31 mostra claramente a extensão gráfica do algoritmo criado utilizando como exemplo o primeiro contêiner (contêiner 0), para os demais contêineres as ilustrações estarão disponíveis nos anexos deste trabalho.

Figura 31 - Solução gráfica da proposta heurística para o contêiner 0

Caixa A1-0	Caixa A1-1
Caixa A1-2	Caixa A1-3
Caixa A1-4	Caixa A2-0
Caixa A2-1	Caixa A2-2
Caixa A2-3	Caixa A2-4
Caixa A3-0	Caixa A3-1
Caixa A3-2	Caixa A3-3
Caixa A3-4	Caixa A5-0
Caixa A4-0	
Caixa A4-1	
Caixa A4-2	
Caixa A4-3	

Fonte: Autora (2016).

Após a realização dos testes iniciando com A e posteriormente com B, as 98 caixas propostas para o carregamento foram alocadas em 9 contêineres, sendo 7 deles completamente ocupados, 1 deles utilizado em torno de 58% e 1 com 95,83%.

Figura 32 - Visão geral de todos os contêineres necessários para o carregamento

Caixa A1-0	Caixa A1-1	Caixa A4-4	Caixa A7-4	Caixa A7-4	Caixa A10-3	Caixa B2-2	Caixa B3-4	Caixa B3-5	Caixa B5-2	Caixa B6-4	Caixa B6-5	Caixa B8-2			
Caixa A1-2	Caixa A1-3	Caixa A5-1	Caixa A5-2	Caixa A8-0	Caixa A8-1	Caixa A10-4	Caixa B2-3	Caixa B4-0	Caixa B4-1	Caixa B5-3	Caixa B7-0	Caixa B7-1	Caixa B8-3		
Caixa A1-4	Caixa A2-0	Caixa A5-3	Caixa A5-4	Caixa A8-2	Caixa A8-3	Caixa B1-0	Caixa B1-1	Caixa B4-2	Caixa B4-3	Caixa B5-4	Caixa B7-2	Caixa B7-3	Caixa B8-4		
Caixa A2-1	Caixa A2-2	Caixa A6-0	Caixa A6-1	Caixa A9-0	Caixa A9-1	Caixa B1-2	Caixa B1-3	Caixa B4-4	Caixa B4-5	Caixa B5-5	Caixa B7-4	Caixa B7-5	Caixa B8-5		
Caixa A2-3	Caixa A2-4	Caixa A6-2	Caixa A6-3	Caixa A9-2	Caixa A9-3	Caixa B1-4	Caixa B1-5	Caixa B5-0	Caixa B6-0	Caixa B6-1	Caixa B8-0				
Caixa A3-0	Caixa A3-1	Caixa A6-4	Caixa A6-4	Caixa A9-4	Caixa A9-4	Caixa B2-0	Caixa B3-0	Caixa B3-1	Caixa B5-1	Caixa B6-2	Caixa B6-3	Caixa B8-1			
Caixa A3-2	Caixa A3-3	Caixa A7-0	Caixa A7-1	Caixa A10-0	Caixa A10-1	Caixa B2-1	Caixa B3-2	Caixa B3-3							
Caixa A3-4	Caixa A5-0	Caixa A7-2	Caixa A7-3	Caixa A10-2											
Caixa A4-0															
Caixa A4-1															
Caixa A4-2															
Caixa A4-3															

Fonte: Autora (2016)

A Figura 32 mostra numa visão geral, todos os 7 primeiros contêineres utilizados ocupados em sua totalidade, 1 deles com 1 posição vaga e o último contêiner utilizado até a 7 posição com relação ao eixo y. Todos os demais resultados obtidos serão discutidos na seção que segue.

3.3.1 Resultados da Heurística

Nesta etapa serão apresentados os resultados obtidos através do método heurístico desenvolvido neste trabalho. A análise desenvolvida consiste em inserir os dados já apresentados anteriormente e após executado o algoritmo, gerar o padrão de carregamento para o cenário apresentado pela empresa L.

O resultado para o primeiro teste efetuado, dispôs de uma ordem de inserção das caixas partindo de A para B. Ou seja, todas as caixas do tipo A foram carregadas e encaixadas nos contêineres disponíveis e posteriormente carregou-se as caixas do tipo B. Na Tabela 4 verifica-se a quantidade de caixas carregadas em cada um dos contêineres utilizando o primeiro padrão de carregamento.

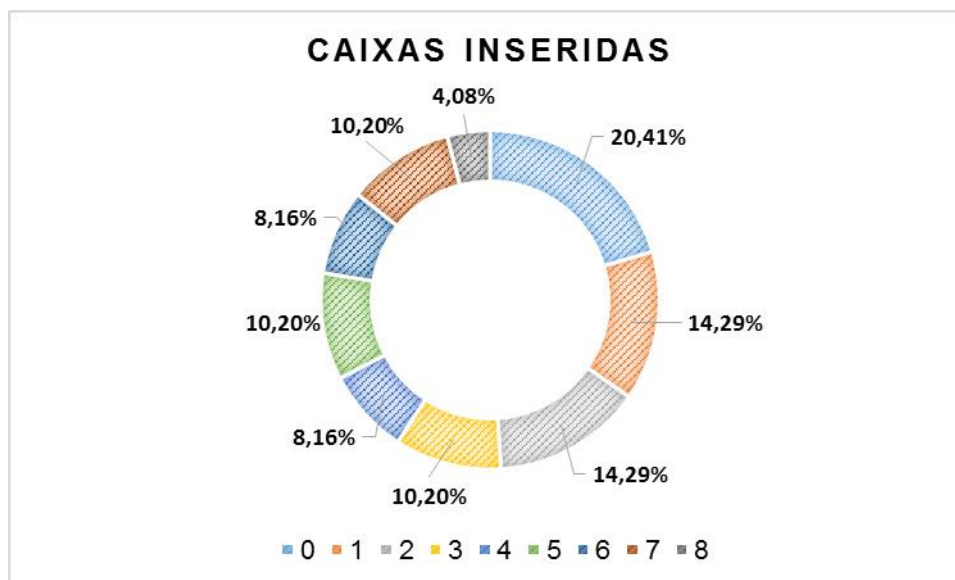
Tabela 4 - Quantidade de caixas carregadas no teste inicial

Contêineres	Caixas Inseridas
0	20
1	14
2	14
3	10
4	8
5	10
6	8
7	10
8	4

Fonte: Autora (2016)

É possível notar através da Tabela 4, que a quantidade de contêineres utilizados, que foi de 9 contêineres. Para a melhor visualização da quantidade de caixas em termos percentuais carregadas em cada contêiner, observar o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Teste Inicial - Caixas inseridas nos contêineres



Fonte: Autora (2016)

Para o segundo teste, mudou-se a ordem do padrão de carregamento para que as caixas do tipo B pudessem ser carregadas antes das do tipo A. este teste foi feito para que se pudesse comparar a necessidade de alteração do layout de espera das cargas, verificando-se a possibilidade de melhoria no resultado final. Na Tabela 5 nota-se a quantidade de caixas carregadas por contêiner neste segundo teste.

Tabela 5 - Quantidade de caixas carregadas no segundo teste

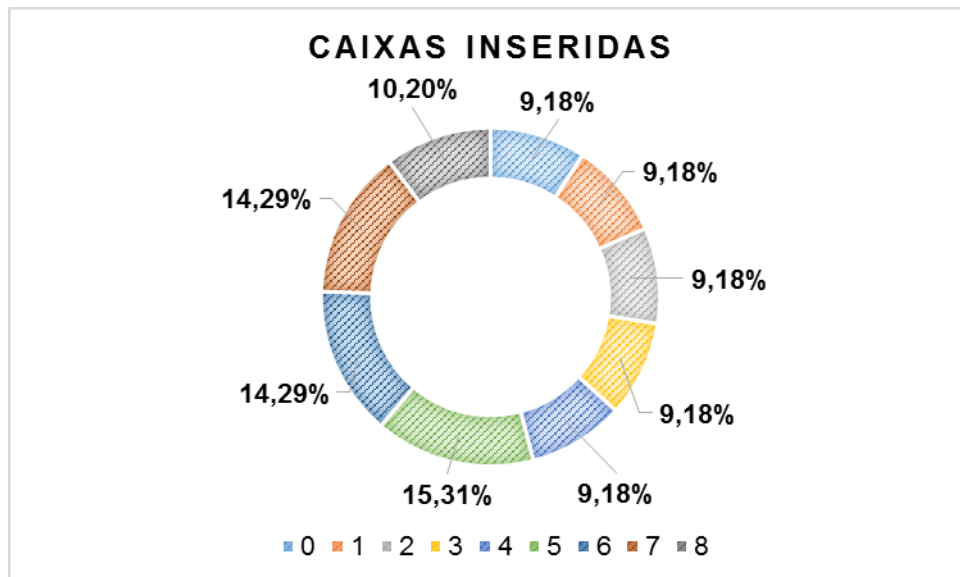
Contêineres	Caixas Inseridas
0	9
1	9
2	9
3	9
4	9
5	15
6	14
7	14
8	10

Fonte: Autora (2016)

Da mesma forma como feito para o primeiro teste, para a melhor visualização da quantidade de caixas em termos percentuais carregadas em cada contêiner, no

Gráfico 2, foram apresentados os cálculos dos valores percentuais de caixas carregadas.

Gráfico 2 - Segundo teste - Caixas inseridas nos contêineres



Fonte: Autora (2016)

Após efetuados os testes para o método heurístico proposto, e analisados os resultados, a segunda etapa será utilizar os mesmos dados já inseridos no algoritmo dentro do software 2D Load Packer. Discute-se na seção 5 as comparações entre os resultados dos dois métodos e explana-se as etapas executadas no software escolhido para este estudo.

3.4 O SOFTWARE 2D LOAD PACKER

O software 2D Load Packer é um software que se fundamenta na ideia de algoritmos bidimensionais com o objetivo de otimizar principalmente o carregamento de contêineres, sendo capaz de modelar e simular carregamentos com cargas homogêneas, considerando limites de pesos e outras possíveis restrições. Além de todos estes benefícios, o programa torna fácil a associação dos custos de cada caixa no contêiner, calculando assim o total da otimização. O 2D Load Packer pode ser baixado na versão demo, válida por 30 dias no site: <http://www.astrokettle.com/downld.html>. E também está disponível a versão 3D para carregamentos de diversos itens que permitem empilhamento.

O objetivo no trabalho é comparar os resultados obtidos com a aplicação do método heurístico proposto com os resultados obtidos pelo software em questão e demonstrar as soluções da heurística, visto que a mesma nem sempre fornece uma solução ótima. Para os testes efetuados no software, mantiveram-se os dados de entrada como no algoritmo proposto, sendo que todas as medidas e quantidades de caixas foram respeitadas.

Para inserção dos dados no software, inicialmente é necessário acessar a página e baixar o programa válido por 30 dias. Após isso, deve-se iniciar o software, cuja página principal é apresentada na Figura 33.

Figura 33 - Página inicial software 2D Load Packer

Fonte: Autora (2016)

Com esta tela aberta, é possível nomear o projeto em questão e indicar qual o tipo de carregamento a ser empregado para o modelo. Após esta informação, se iniciará o preenchimento com os dados reais do modelo que se pretende aplicar. Deve-se clicar em Container Library para inserir os dados do contêiner ou caminhão (altura, comprimento, largura, custo, volume, capacidade) e indicar qual é o sentido de preenchimento do contêiner pelo algoritmo, neste caso, foi mantido o sentido já estabelecido: preenchimento do canto inferior esquerdo para o canto inferior direito e

depois ir em direção a porta do contêiner. Pode-se observar na Figura 34 a adição dos dados do contêiner.

Figura 34 - Incluindo os dados do contêiner no software

2D Load Packer 1.93 - Task page (Trial mode)

CURRENT TASK: Lais Marangoni - TCC

DESCRIPTION: Container-2D

SHEETS / 2D Containers to Load

Container Type	Cost	Avail	Used	Mark	Length	Width	Area	LoadWt	
cont	0	20	9	C40	1200	200	240	1000	Leng

Container Library

Q'ty	Sheet / 2D Container Type	Mark	Length	Width	Area	Fill Dir	LoadWt	NoseWt	TailWt	NoseDL	TailDL	Temp	Description
10	cont	C40	1200	200	240	Length	1000	1500	1500	150	100	False	Rectangular container
0	Sheet 1	Sh1	333	222	74	Either	0	0	0	0	0	False	Rectangular sheet
2	Truck 1	Tr1	480	240	115	Either	4000	2500	2500	100	100	False	Rectangular container floor
0	Truck 2	Tr2	1000	250	250	Length	8000	5000	5000	160	160	False	Rectangular container floor
0	Truck 3	Tr3	1560	260	406	Length	12000	7000	7000	240	240	False	Rectangular container floor

Fonte: Autora (2016)

Também preocupou-se em manter todas as dimensões do contêiner conforme as do algoritmo proposto (12 metros de comprimento por 2 metros de largura). Mesmo o software utilizando dados para peso e capacidade, estes valores foram desconsiderados ao tomar a decisão de inserir uma capacidade muito alta, sendo que para as caixas utilizou-se o menor valor possível de peso, isto para que essas variáveis não interferissem nos resultados.

Para adicionar os dados das caixas, foram inseridas as dimensões para cada uma delas, bem como a quantidade. Além disso, na identificação foram inseridos as iniciais de cada caixa para que fosse possível a visualização após a simulação e aplicação do algoritmo. A inclusão dos dados das caixas no software pode ser observada com mais clareza na Figura 35.

Figura 35 - Inclusão das caixas no modelo

2D Load Packer 1.93 - Task page (Trial mode)

CURRENT TASK: **Lais Marangoni - TCC**

DESCRIPTION: Container - 2D Date: 11/10/2016

SHEETS / 2D Containers to Load

Container Type	Cost	Avail	Used	Mark	Length	Width	Area	LoadWt	Fill Dir
cont	0	10	9	C40	1200	200	240	1000	Length

PARTS / 2D Boxes to Pack

Box Kind	Cost	Total	Used	Mark	Length	Width	Area	Weight	TurnOn
Caixa_A1	0	5	5	A1	100	100	10	5	True
Caixa_A2	0	5	5	A2	100	100	10	5	True
Caixa_A3	0	5	5	A3	100	100	10	5	True
Caixa_A4	0	5	5	A4	200	100	20	5	True
Caixa_A5	0	5	5	A5	100	100	10	5	True
Caixa_A6	0	5	5	A6	200	100	20	5	True
Caixa_A7	0	5	5	A7	200	100	20	5	True
Caixa_A8	0	5	5	A8	100	100	10	5	True
Caixa_A9	0	5	5	A9	200	100	20	5	True
Caixa_A10	0	5	5	A0	200	100	20	5	True
Caixa_B1	0	6	6	B1	100	200	20	5	True
Caixa_B2	0	6	6	B2	200	200	40	5	True
Caixa_B3	0	6	6	B3	100	200	20	5	True
Caixa_B4	0	6	6	B4	100	200	20	5	True
Caixa_B5	0	6	6	B5	200	200	40	5	True
Caixa_B6	0	6	6	B6	100	200	20	5	True
Caixa_B7	0	6	6	B7	100	200	20	5	True
Caixa_B8	0	6	6	B8	200	200	40	5	True

Containers: Total Utilization: 5.44 %Wgt, 95.83 %Area

Containers: Avail Used

Number	Avail	Used
10	9	

LoadWt: 10000 9000

Area: 2400 2160

Boxes: Total Left

Number	Total	Left
98	0	

Weight: 490 0

Area: 2070 0

Net Cost: 0.00

Common Turn Rules: ☐ Horiz TurnOn

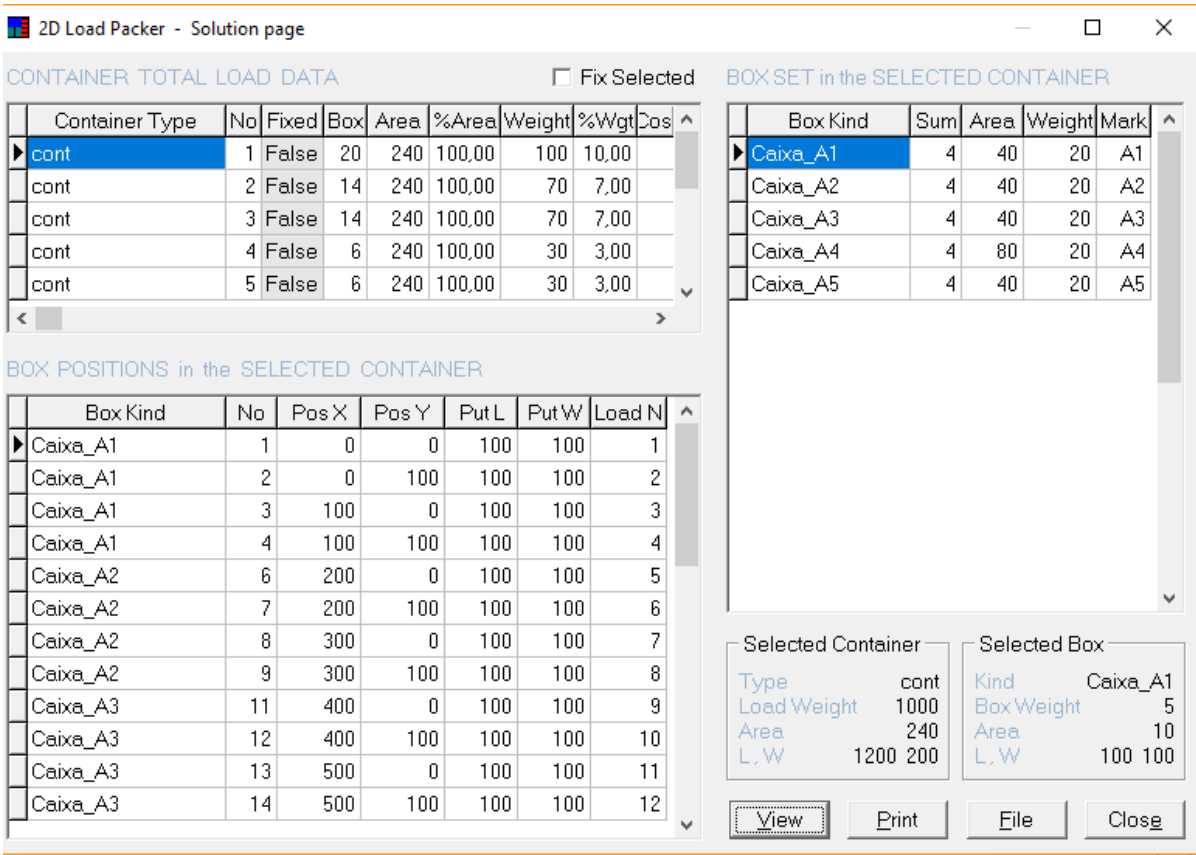
Settings: 1000

Print ? Exit

Fonte: Autora (2016)

Finalizada a inclusão desses dados no software, para iniciar a simulação é necessário clicar no botão Solution. A solução aparecerá em uma nova janela, com algumas informações como por exemplo o que foi carregado exatamente em qual contêiner. Além disso, é possível coletar relatórios dos resultados que informam a posição efetiva da caixa no contêiner, assim como já havia sido apresentado no algoritmo proposto.

Figura 36 - Tela de resultados gerado pelo software

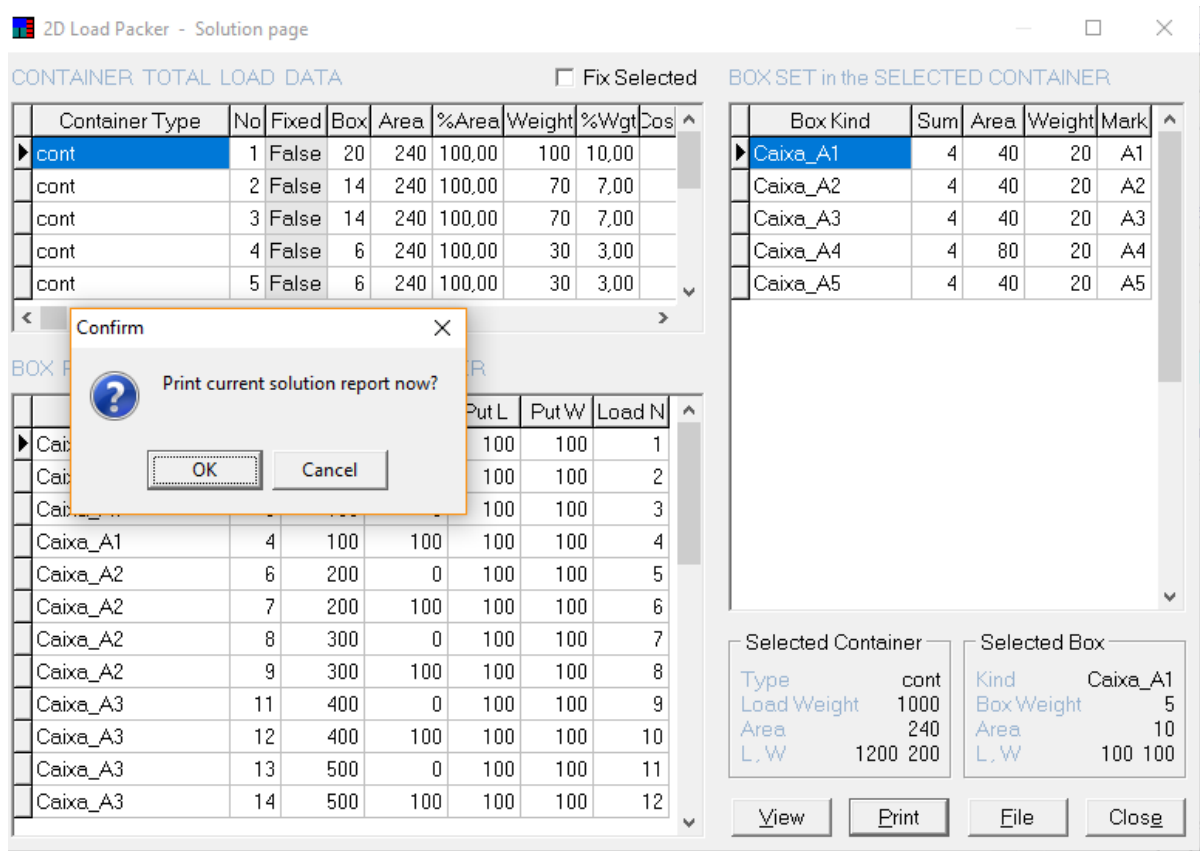


Fonte: Autora (2016)

Conforme a Figura 36, é possível notar que ao se selecionar o contêiner no lado esquerdo superior, automaticamente aparecem as caixas que foram inseridas e abaixo a sua posição dentro dos contêineres. Vale ressaltar que por se tratar de um software pronto, as otimizações efetuadas também englobam a otimização de custo, e caso fossem adotados pesos, o algoritmo permite que algumas caixas não fossem carregadas para que as de maior valor agregado pudessem ser transportadas. Para este trabalho não será abordado este tema.

A impressão de relatórios é simples, bastando clicar no ícone print, e logo aparecerá a tela de impressão de resultados, sendo que podem ser salvos de diversas formas. A Figura 37 exemplifica a impressão dos resultados para o usuário.

Figura 37 - Impressão de relatórios após simulação



Fonte: Autora (2016)

Posteriormente ao término dos testes, o software também proporciona a oportunidade de visualização em forma de imagens do carregamento considerado. Essa interface com usuário é extremamente útil, visto que para as empresas quanto mais didático forem os resultados, maior é o entendimento por parte de todos os colaboradores. Os resultados obtidos no padrão gráfico serão apresentados na próxima seção.

3.4.1 Análise dos resultados no Software 2D Load Packer

Nesta seção, abordam-se os resultados obtidos através da aplicação do software 2D Load Packer no cenário proposto de carregamento da empresa L. Para os testes executados, mantiveram-se as ordens de carregamento, sendo o teste inicial como já proposto na heurística, iniciando com as caixas do tipo A, e posteriormente do B, e ao contrário para o segundo teste. Ao utilizar-se o software percebeu-se

através da impressão dos resultados na tela, que a quantidade de contêineres utilizados no carregamento foi a mesma encontrada no método heurístico proposto.

Apesar da quantidade de contêineres ser a mesma, a posição das caixas variaram, visto que o software considera a rotação das caixas após a inserção, gerando diversas possibilidades de combinações dentro do contêineres, e apresentando como a melhor opção de solução, a que obtém a maior compactação das caixas nos contêineres. Na Figura 38 é possível verificar a disposição das caixas alocadas nos 9 contêineres utilizados pelo software para gerar a solução.

Figura 38 - Resultados obtidos pelo software 2D Load Packer



Fonte: Autora (2016)

Na Figura 38 mostrou-se o resultado encontrado utilizando o software 2D Load Packer considerando a ordem de inserção das caixas A no contêiner seguindo de B. Da mesma forma, quando se aplicaram os testes iniciando com as caixas do tipo B, o resultado obtido para o carregamento também foi de 9 contêineres, sendo o layout agora encontrado foi diferente do primeiro teste. Esta diferença ocorre pela ordem de

inserção das caixas, já que quando as caixas do tipo A são inseridas, o software já busca otimizar a colocação delas em uma posição ótima, sendo que posteriormente as B passam pelo mesmo processo. Nota-se na Figura 39 a diferença no layout de carregamento considerando o segundo teste efetuado.



Fonte: Autora (2016)

Como os testes efetuados não consideraram o peso e empilhamento das caixas, a solução gerada está submetida as mesmas restrições impostas no algoritmo heurístico apresentado na seção anterior, uma das diferenças entre os dois métodos está na rotação das caixas para gerar uma melhor solução, função que a heurística proposta não está habilitada a desempenhar.

Através desta diferença, verificou-se que para o software 2D Load Packer, obtiveram-se 9 contêineres como resposta, porém, 8 deles ficaram preenchidos em sua totalidade, e apenas 1 deles teve utilização de 58%, este fato se deve pela opção de melhoria implementada no software, que modifica a combinação gerada para conseguir alocar as caixas utilizando menos espaço. No algoritmo proposto, essa função não foi utilizada.

A comparação entre as otimizações encontradas através dos dois métodos será abordada na seção seguinte.

4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS OBTIDOS

Nesta etapa serão apresentadas os resultados obtidos através dos dois métodos de resolução considerados: o método heurístico proposto e o software 2D Load Packer. Além disso, com base nos resultados encontrados apontam-se os pontos de melhoria em face ao cenário aplicado atualmente pela empresa L.

Para os resultados encontrados nas três etapas deste trabalho, ou seja, apresentação da situação atual da empresa, resolução do problema atual da empresa utilizando um método heurístico proposto e posteriormente utilizando o software, serão agrupadas as comparações com base em:

- Layout apresentado e ocupação dos contêineres;
- Tempo utilizado para execução;
- Custos de embalagem;
- Custo de contêineres;
- Melhorias efetuadas.

O layout de carregamento encontrado em cada um dos testes (iniciando com a colocação das caixas do tipo A e no segundo teste iniciando com a colocação das caixas do tipo B) de cada uma das propostas, encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Comparação de Resultados - teste inicial com as caixas do tipo A

Número de Caixas Inseridas iniciando com as Caixas de A			
Contêineres	Método Manual	Método Heurístico	Método Software 2D
0	9	20	20
1	14	14	14
2	9	14	14
3	12	10	6
4	11	8	6
5	10	10	6
6	9	8	12
7	9	10	12
8	8	4	8
9	7	0	0

Fonte: Autora (2016)

É importante destacar que para o método manual, houve necessidade de mais um contêiner para executar o mesmo carregamento proposto pelo método heurístico e pelo software. Este dado, já aponta à empresa a necessidade de otimização dentro do processo atual de carregamento das cargas. Os dados para o segundo teste são sintetizados na Tabela 7.

Tabela 7- Comparação de Resultados - segundo teste com as caixas do tipo B

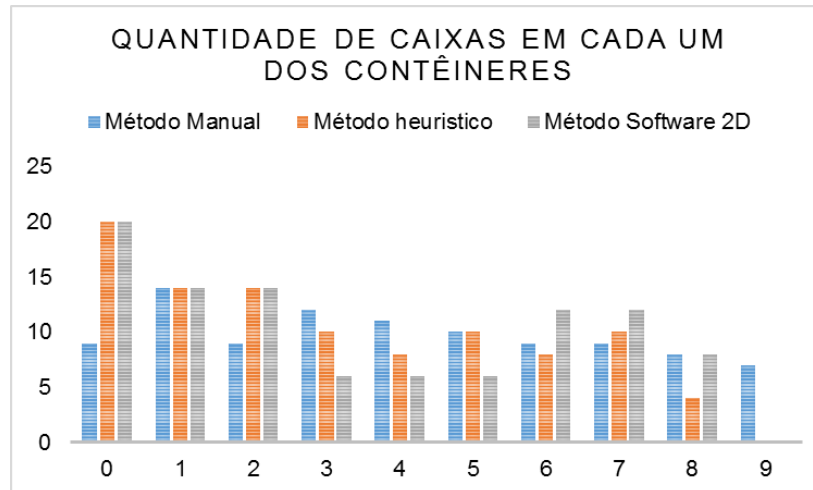
Número de Caixas Inseridas iniciando com as Caixas de B			
Contêineres	Método Manual	Método Heurístico	Método Software 2D
0	9	9	20
1	14	9	14
2	9	9	10
3	12	9	6
4	11	9	6
5	10	15	8
6	9	14	12
7	9	14	12
8	8	10	10
9	7	0	0

Fonte: Autora (2016)

Da mesma forma que identificado no teste 1, o contêiner 9 para o segundo teste executado também foi necessário apenas no método manual, demonstrando o gasto excessivo em um número maior de contêineres, sendo que a necessidade da empresa L é satisfeita com 9 contêineres apenas.

Os gráficos 3, 4 e 5 apresentam a variação das quantidades de caixas carregadas para os dois testes efetuados em cada um dos contêineres nos 3 métodos estudados.

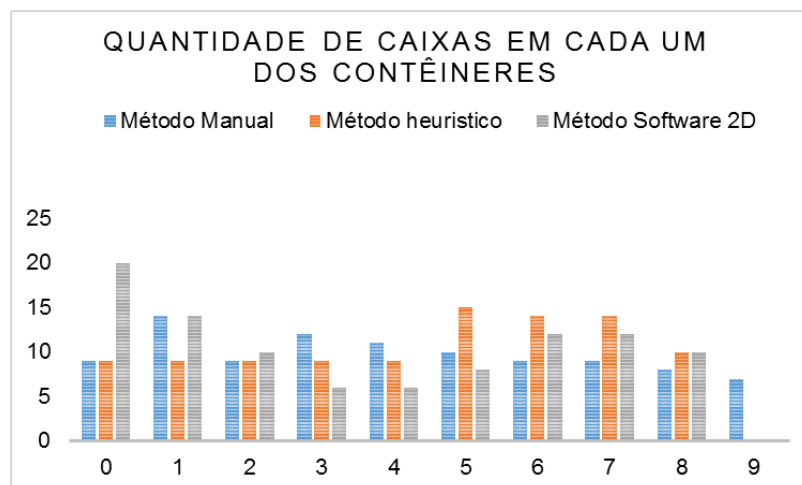
Gráfico 3 - Caixas inseridas nos Contêineres - teste 1



Fonte: Autora (2016)

Nota-se no Gráfico 3, que para alguns contêineres a quantidade de caixa foi parecida, visto que as caixas de 1 metro por 1 metro são mais fáceis de alocar e geram padrões de carregamento mais parecidos, por não exigir necessidade de rotação. Os valores mais discrepantes notados foram os obtidos pelo método manual. A seguir apresenta-se o Gráfico 4 com as informações do segundo teste efetuado, inserido as caixas de B antes das caixas do tipo A.

Gráfico 4 - Caixas inseridas nos Contêineres - teste 2

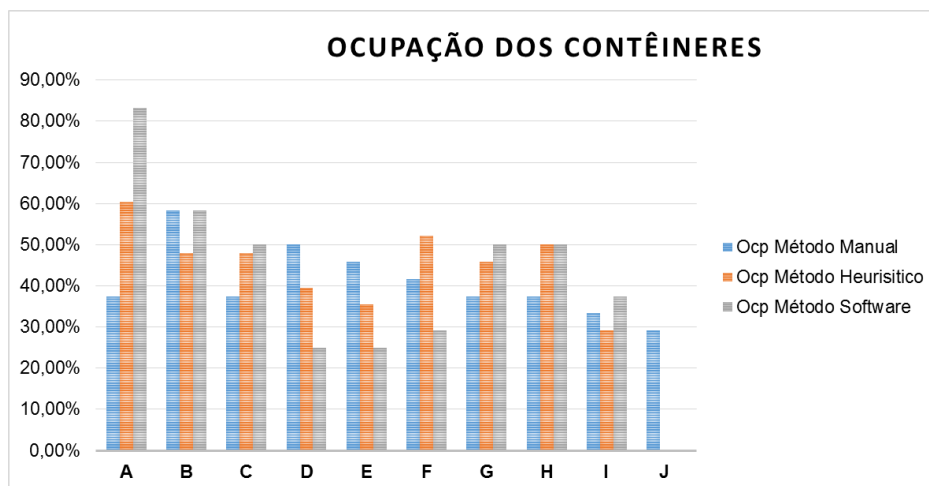


Fonte: Autora (2016)

Como a maior quantidade de caixas para serem inseridas inicialmente ocorre no segundo teste, visto que as caixas do tipo B para o teste dois ganham prioridade na fila de inserção, é possível notar no Gráfico 4 que os pontos mais discrepantes acontecem no contêiner 0, 5, 6 e 7 sendo que os demais possuem uma tendência a permanecer com as quantidades mais homogêneas. Isto ocorre para os demais contêineres devido a demanda das caixas do tipo B, que ao serem inseridas correspondem a grande parte das caixas na fila, tornando o restante das caixas melhor subdivido dentro dos contêineres restantes.

Com o auxílio da interface gráfica criada após a implementação da heurística juntamente com o arquivo .csv denominado de relatório de resultados, é possível verificar ainda a ocupação dos contêineres em cada um dos testes efetuados. A ocupação mostra a melhoria dos métodos de otimização em relação aos métodos manuais. No Gráfico 5, mostra-se a comparação da ocupação dos contêineres para os 3 métodos apresentados no decorrer deste trabalho.

Gráfico 5 - Ocupação dos Contêineres



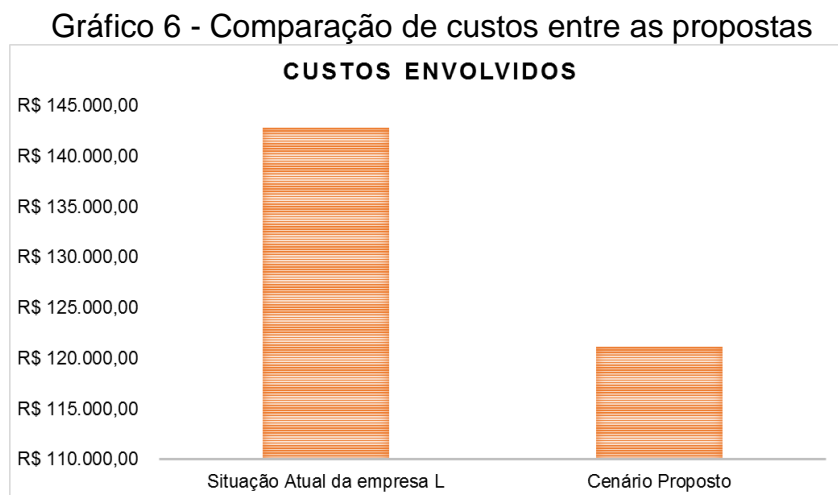
Fonte: Autora (2016)

Para o tempo de execução da tarefa, sabe-se que os especialistas da área gastam cerca de 3,5 horas de trabalho preparando os desenhos dos itens que irão em cada um dos contêineres utilizados. Considerando o tempo infinitesimal de execução da heurística e do software, revela-se a necessidade de aquisição de um mecanismo

de otimização que possa realizar este trabalho para que não haja necessidade das horas solicitadas aos especialistas.

Avaliando o quesito custos de embalagem, como descrito na seção 4, a situação atual da empresa não contava com materiais específicos de embalagem para este tipo de transporte, e considerando a tradição e repetição de envio dos equipamentos através de caixas de madeira fechada, o custo gasto para confeccionar as caixas utilizadas era de R\$1.800,00 por contêiner.

Conhecendo o custo envolvido, e melhorando o processo de paletização dos equipamentos, apenas utilizando paletes como base (para facilitar a movimentação) e amarrando com cintas conforme a Figura 25, foi possível reduzir este custo para R\$986,00 por contêiner, considerando os contêineres de 40 pés utilizados na confecção deste trabalho. Através da melhoria de preparação das cargas para o transporte, pode-se perceber uma redução de 53,78% do custo atualmente gasto pela empresa. É significativo destacar que essa redução de custo proposta nas embalagens mescladas com a otimização do layout de carregamento proposto, acarretam em uma redução ainda maior, conforme ilustrado do Gráfico 6 a seguir.



Fonte: Autora (2016)

No Gráfico 6, verifica-se que os custos envolvidos foram analisados com base nos resultados de quantidade de contêiner considerando a situação atual da empresa L e as propostas geradas durante o estudo deste trabalho. A seguir pode-se verificar na Tabela 8 os custos utilizados para exemplificar a redução significativa nos custos

envolvidos na operação de carregamento dos equipamentos, considerando embalagem da carga e layout de carregamento fornecido.

Tabela 8 - Comparação de custos entre cenários

Informações	Situação Atual	Cenário com a Heurística	Cenário Software
Quantidade de Contêineres	10 contêineres	9 contêineres	9 contêineres
Custo por Contêiner	R\$ 12.478,00	R\$ 12.478,00	R\$ 12.478,00
Total Gasto por Contêiner	R\$ 124.780,00	R\$ 112.302,00	R\$ 112.302,00
Quantidade de embalagem	10 embalagens	9 embalagens	9 embalagens
Custo de Embalagem	R\$ 1.800,00	R\$ 986,00	R\$ 986,00
Total Gasto com Embalagem	R\$ 18.000,00	R\$ 8.874,00	R\$ 8.874,00
Total do Carregamento	R\$ 142.780,00	R\$ 121.176,00	R\$ 121.176,00

Fonte: Autora (2016).

Partindo da situação atual da empresa para os cenários propostos, a redução encontrada através da otimização do layout e das embalagens representa 15,13% para a empresa L. Os resultados encontrados mostram a necessidade da adesão de métodos mais eficientes para este tipo de operação, considerando o desgaste em horas de trabalho dos especialistas da área, além da redução de custos significativa. É importante destacar que este trabalho descreveu apenas um dos carregamentos que aconteceram durante todo ano na Empresa L, mostrando que caso seja aplicado o método em todos os carregamentos feitos, os ganhos seriam ainda maiores para a companhia.

5.CONCLUSÃO

Neste trabalho, aplicou-se a ferramenta de pesquisa operacional em uma empresa de grande porte da Região Sul do Brasil a fim de otimizar os custos na operação de carregamento e maximizar o volume ocupado dentro dos contêineres.

Os resultados obtidos após a execução do método heurístico proposto neste estudo, comparados aos resultados obtidos com a utilização do software 2D Load Packer, confirmam a necessidade do uso de ferramentas de otimização dentro das organizações, uma vez que existem diversas situações de tomada de decisão na rotina da empresa que precisam de embasamento para que o resultado seja assertivo.

Os objetivos planejados no início deste trabalho foram contemplados em sua totalidade e contribuíram significativamente para os resultados da empresa em estudo.

A fundamentação teórica apresentada contribuiu para o desenvolvimento dos conceitos, visto que permitiu explicar e compreender diversos problemas de carregamento de contêineres já tratados na literatura, sendo eles abordados de forma exata, heurística ou até mesmo pelo método manual. Além disso, sem as informações estudadas, seria inviável apresentar uma proposta de solução para a empresa, uma vez que a ideia de modelagem heurística surgiu após a leitura de publicações sobre o tema.

A heurística proposta neste trabalho se mostrou eficiente na resolução do problema encontrado atualmente pela empresa L, pois foi possível diagnosticar uma melhoria no layout de carregamento em 15,13% do que atualmente é praticado pela mesma. Implementar a heurística foi um processo desafiador no decorrer do trabalho, já que para a elaboração de uma interface gráfica, necessitou-se a modelagem em uma linguagem não abordada durante os anos de graduação.

O software 2D Load Packer, também utilizado neste trabalho, mostrou-se uma ferramenta de extrema eficiência para carregamentos de pequeno, médio e grande porte. Mesmo utilizando a versão disponível na internet, a facilidade de utilizar um

software já pronto na resolução de um problema, garante alcançar soluções aceitáveis em um espaço de tempo muito pequeno. Nesta etapa entra claramente o papel da engenharia, de inserir os dados coletados em um software que atenda a necessidade da empresa, executá-lo e analisar os resultados obtidos. Após a análise, os engenheiros podem tomar decisões com clareza e eficácia.

A grande divergência encontrada na comparação dos métodos está diretamente ligada ao layout fornecido ao final das iterações, porquanto que a heurística não tinha a função de rotação das caixas após inseridas para gerar um procedimento de melhoria, como no caso do 2D Load Packer.

Em relação aos resultados obtidos, considerou-se inviável continuar com a prática utilizada pela empresa L atualmente, devido ao alto custo com mão de obra e processos de carregamento não eficientes. Isto porque a redução encontrada na otimização dos processos resultou em uma economia para a empresa L de 15,13% nos custos de movimentações entre as plantas fabris, sendo destaque para a melhoria na utilização das embalagens, gerando uma economia de 53,78%, considerando apenas o carregamento estudado.

Com isso, a empresa decidiu optar pela reestruturação dos seus carregamentos com base nas análises fornecidas por este trabalho, principalmente considerando a pouca eficiência dos materiais de embalagem utilizados atualmente. Hoje a empresa já homologou um parceiro para fornecer os materiais de embalagem para os carregamentos futuros, e está iniciando o processo com base nos estudos desenvolvidos.

Para trabalhos futuros envolvendo o problema de carregamento de contêineres, ou aperfeiçoamento deste estudo, propõe-se adicionar à heurística proposta algumas funções que envolvam estabilidade da carga e tamanhos variados, por exemplo. Apesar da própria literatura tratar os problemas com tamanhos variados complexos, a sugestão é utilizar como variável apenas as dimensões dos contêineres. Outra sugestão para trabalhos futuros é de melhoria na interface gráfica proposta, tornando mais dinâmica e com mais recursos, como a inserção de layout dos paletes utilizados.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, P. M. S. **Uma proposta de reformulação da rede de distribuição de produtos**. 2005. 127 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial – Logística, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.
- ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. N. **Logística aplicada**. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- AMARAL, J. A.C. **A logística internacional como diferencial competitivo para as empresas envolvidas nas importações e exportações brasileiras**. 2008. 156 p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Programa de Pós Graduação em Economia PIMES, Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Economia, Recife, 2008.
- ANDRADE, L. **Introdução à pesquisa operacional**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- _____. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- ARENALES, M.N et al. **Pesquisa operacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: CAMPUS, 2015b.
- ARENALES, M. N.; SANTOS, M. O ; LEÃO, A. A. Método de geração de colunas e heurísticas para o problema da mochila compartimentada. **XLI SBPO - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento**, 2009.
- ARENALES, M. N. et al. A new mathematical model for the cutting stock/leftover problem. **Notas do ICMC-USP**. Série Computação, n.97,14 p., 2015a.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- _____. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- _____. **Business logistics management**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1999.
- _____. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2003.
- BORTFELDT, A; GEHRING, H. A hybrid genetic algorithm for the container loading problem. **European Journal of Operational Research**. v 131, p. 143-161, 2001.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Atlas, 2001.

CÁCERES, H. M.; NISHIBE, C.; SANDIM, H.C. Implementação em Grades Computacionais de Algoritmos BSP/CGM para os Problemas da Mochila 0-1 e Mínimo Intervalar. **WSCAD 2006- Workshop em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho**. v1, 88 p, p 82-84, 2006.

CAVALLI, D.; BAUMGARTNER, D. **Simulação e otimização do processo industrial de paletização de caixas de refresco em pó e estudo ergonômico do posto de trabalho**, 2014.

CECÍLIO, F. O; MORABITO, R. Heurísticas para o problema de carregamento de cargas dentro de contêineres. **SBPO- Pesquisa Operacional e os Recursos Renováveis, São Carlos, SP**, p. 8-11, 2003.

CHEN, C. S.; LEE, S. M.; SHEN, Q. S. An analytical model for the container loading problem. **European Journal of Operational Research**, v. 80, p. 68-76, 1995.

CHRISTOPHER, M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 4ª Edição. São Paulo: Cengage. 2011.

COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional - 170 Aplicações em Estratégia, finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas**, 2013.

CUOCO, M. **Otimização da seleção e alocação de cargas em navios de contêineres**. 2008. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

DEL VALLE, A. M. **Problema da Mochila com Itens Irregulares**. Dissertação Mestrado em Ciência da Computação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 2010.

DYCHKOFF, H. A typology of cutting and packing problems. **European Journal of Operational Research**, v. 44, p. 145–159, 1990.

FARIAS, P. C. **Problema de Corte de Estoque Unidimensional com Reaproveitamento de sobras: Abordagem de resolução por meio de uma técnica de geração de colunas**. Dissertação de mestrado do Departamento de matemática - Universidade Estadual de Londrina, 2011.

FLEURY, P. F., WANKE, P., FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.

GILMORE, P. C.; GOMORY, R. E. A linear programming approach to the cutting-stock problem. **Operations Research**, v. 9, p. 849–859, 1961.

GOLDBARG, M. C; LUNA, H. P. **otimização combinatória e programação linear**. São Paulo: CAMPUS, 2005.

HILLIER, F.S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMPH, 2013.

HOTO, R.S.V **Uma abordagem 1-1/2- dimensional para o problema de corte em duas fases com agrupamento de itens**. 2000. 119 p.Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ciências da Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

KEEDI, S. **Transportes, Unitização e Seguros Internacionais de Carga - Prática e exercícios**. 2a ed. São Paulo. Aduaneiras, 2003.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na tomada de Decisão**. 4ª Edição. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

LIN, E Y H. A Bibliographical survey on some well – known non- standart knapsack problems. **INFORM**, v. 4, p. 302-317, 1988.

MARQUES, F. P. **O problema da mochila compartimentada**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Ciências Matemáticas da Computação ICMC, Universidade de São Paulo. Departamento Computação, São Paulo. 2000.

MARQUES F.P; ARENALES, M.N.The Constrained Compartmentalised Knapsack Problem. **Computers and Operation Reserch**, v.34, p. 2019-2129, 2007.

MARTELLO, S.; TOTH, P. **Knapsack Problems Algorithms and Computer Implementations**. Chichester: John Wiley e Sons, 1990.

MARTINS, J.S. **Aspetos logísticos no desenvolvimento de novos produtos**, 2013.

MENEZES, A.F. **Programação linear**. LABPLUCG- Universidades Católica de Goiás, 2006.

MOSQUERA, G. P. **Contribuições para o Problema de Corte de Estoque Bidimensional na Industria Moveleira**. 2007.146 p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Programada de Pós Graduação em Matemática Aplicada, Universidade do Estado de São Paulo. Departamento de Matemática, São Paulo, 2007.

MORABITO R. **Uma Abordagem em Grafo E/OU para o Problema do Empacotamento: Aplicação ao Carregamento de Paletes e Contêineres**.1992. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 1992.

MORABITO, R.; ARENALES, M. N. Abordagens para o problema do carregamento de Contêineres. São Carlos, São Paulo, 1997.

MORAIS, C. L. **A Aplicação de um modelo matemático na resolução de um problema de carregamento de paletes**. 2014. 38 p. Trabalho de conclusão de

curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Guaratinguetá, SP, 2014.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa operacional**: curso introdutório. 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

OTIMIZE NESTING. Sistema Online de Planos de Corte. Disponível em: <<http://www.otimizenesting.com.br>>. Acesso em: 09 set, 2016.

POLI, G. I.; PUREZA, V. Um algoritmo de busca tabu para o carregamento de contêineres com caixas idênticas. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 2, 2012.

QUEIROZ, T. A. **Algoritmos para Problemas de Corte e Empacotamento**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Computação. São Paulo, 2010.

RODRIGUES, L. L. **Um Algoritmo Genético para o Problema de Carregamento de Container**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

RODRIGUES, P.R.A. **Gestão Estratégica de Armazenagem**. São Paulo: Aduaneiras, 2003.

SELONG, L.; KRIPKA R. Otimização De Roteiros: Estudo De Caso De Uma Distribuidora De Ferro De Passo Fundo/Rs Para A Região. **CIATEC**. Passo Fundo, v.1, p. 14-31, 2009.

SILVA, J. L.C.S.; SOMA, N. Y. Um Algoritmo Polinomial para o Problema de Empacotamento de Contêineres com Estabilidade estática da Carga. **Pesquisa Operacional**, v. 23, n.1, p. 79-98, jan./abr, 2003.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional**. 8ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2008.

UTIDA, M. A. **Heurísticas Especializadas Aplicadas ao Problema de Carregamento de Contêiner**. 2012. Tese (Doutorado) - Programa em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Elétrica, São Paulo, 2012.

VENDRAMINI, E. **Otimização do problema de Carregamento de Contêiner Usando uma metaheurística eficiente**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade, Universidade Estadual de São Paulo. Departamento de Engenharia Elétrica, São Paulo, 2007.

VIEIRA, G.B.B. **Logística e distribuição física internacional**: teoria e pesquisas. São Paulo: Lex Editora, 2003.

2DLP, 2D **Load Packing**. Disponível em: <<http://2d-load-packer.soft112.com>>. Acesso em: 10 out. 2016.

ANEXOS

Teste 1 – Inserção das Caixas do tipo A e posteriormente do tipo B

Caixa B3-4	Caixa B3-5	Caixa B5-2	Caixa B6-4	Caixa B6-5	Caixa B8-2		
Caixa B4-0	Caixa B4-1	Caixa B5-3	Caixa B7-0	Caixa B7-1	Caixa B8-3		
Caixa B4-2	Caixa B4-3	Caixa B5-4	Caixa B7-2	Caixa B7-3	Caixa B8-4		
Caixa B4-4	Caixa B4-5	Caixa B5-5	Caixa B7-4	Caixa B7-5	Caixa B8-5		
Caixa B5-0	Caixa B6-0	Caixa B6-1	Caixa B8-0				
Caixa B5-1	Caixa B6-2	Caixa B6-3	Caixa B8-1				
Caixa A1-0	Caixa A1-1	Caixa A4-4	Caixa A7-4	Caixa A7-4	Caixa A10-3	Caixa B2-2	
Caixa A1-2	Caixa A1-3	Caixa A5-1	Caixa A5-2	Caixa A8-0	Caixa A8-1	Caixa A10-4	
Caixa A1-4	Caixa A2-0	Caixa A5-3	Caixa A5-4	Caixa A8-2	Caixa A8-3	Caixa B1-0	Caixa B1-1
Caixa A2-1	Caixa A2-2	Caixa A6-0	Caixa A8-4				
Caixa A2-3	Caixa A2-4	Caixa A6-1	Caixa A9-0			Caixa B1-2	Caixa B1-3
Caixa A3-0	Caixa A3-1	Caixa A6-2	Caixa A9-1				
Caixa A3-2	Caixa A3-3	Caixa A6-3	Caixa A9-2			Caixa B1-4	Caixa B1-5
Caixa A3-4	Caixa A5-0	Caixa A6-4	Caixa A6-4	Caixa A9-3			
Caixa A4-0		Caixa A7-0	Caixa A9-4		Caixa B2-0	Caixa B3-0	Caixa B3-1
Caixa A4-1		Caixa A7-1	Caixa A10-0				
Caixa A4-2		Caixa A7-2	Caixa A10-1		Caixa B2-1	Caixa B3-2	Caixa B3-3
Caixa A4-3		Caixa A7-3	Caixa A10-2				

Teste 2 – Inserção das Caixas do tipo B e posteriormente do tipo A

Caixa B1-0	Caixa B1-1	Caixa B2-3		Caixa B4-0	Caixa B4-1	Caixa B5-3		Caixa B7-0	Caixa B7-1
Caixa B1-2	Caixa B1-3	Caixa B2-4		Caixa B4-2	Caixa B4-3	Caixa B5-4		Caixa B7-2	Caixa B7-3
Caixa B1-4	Caixa B1-5	Caixa B2-5		Caixa B4-4	Caixa B4-5	Caixa B5-5		Caixa B7-4	Caixa B7-5
Caixa B2-0		Caixa B3-0	Caixa B3-1	Caixa B5-0		Caixa B6-0	Caixa B6-1	Caixa B8-0	
Caixa B2-1		Caixa B3-2	Caixa B3-3	Caixa B5-1		Caixa B6-2	Caixa B6-3	Caixa B8-1	
Caixa B2-2		Caixa B3-4	Caixa B3-5	Caixa B5-2		Caixa B6-4	Caixa B6-5	Caixa B8-2	

Caixa B8-3		Caixa A3-2	Caixa A3-3	Caixa A5-1	Caixa A5-2	Caixa A8-0	Caixa A8-1		
Caixa B8-4		Caixa A3-4	Caixa A5-0	Caixa A5-3	Caixa A5-4	Caixa A8-2	Caixa A8-3		
Caixa B8-5		Caixa A10-0		Caixa A6-0		Caixa A8-4			
		Caixa A10-1		Caixa A6-1		Caixa A9-0			
		Caixa A10-2		Caixa A6-2		Caixa A9-1			
Caixa A1-0	Caixa A1-1	Caixa A10-3		Caixa A6-3		Caixa A9-2			
Caixa A1-2	Caixa A1-3	Caixa A10-4		Caixa A6-4		Caixa A9-3			
Caixa A1-4	Caixa A2-0	Caixa A4-0		Caixa A7-0		Caixa A9-4			
Caixa A2-1	Caixa A2-2	Caixa A4-1		Caixa A7-1					
Caixa A2-3	Caixa A2-4	Caixa A4-2		Caixa A7-2					
Caixa A3-0	Caixa A3-1	Caixa A4-3		Caixa A7-3					
		Caixa A4-4		Caixa A7-4					